

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



ANÁLISIS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO DOMÉSTICO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Autor: Ismael Candial Benavente

Tutor: Vicente Salas Merino



ÍNDICE

PREFACIO	4
1. LAS ENERGÍAS RENOVABLES	6
1.1 LA ENERGÍA EÓLICA	6
1.1.1 Aerobombas:	7
1.1.2 Aerogeneradores:	9
1.2 ENERGÍA HIDRÁULICA:	15
1.2.1 Hidráulica convencional:.....	20
1.2.2 Centrales de bombeo	21
1.2.3 Energía mareomotriz	22
1.2.4 Presa de marea:.....	23
1.2.5 Generador de la corriente de marea:	23
1.2.6 Energía mareomotriz dinámica:	24
1.3 ENERGÍA SOLAR:.....	25
1.3.1 Energía solar térmica:.....	26
1.3.2 Energía solar fotovoltaica:	34
1.4 BIOENERGÍA O ENERGÍA DE BIOMASA:.....	41
1.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA:.....	42
2.SISTEMAS HÍBRIDOS DE GENERACIÓN.....	43
2.1 INTRODUCCIÓN:	43
2.2 EL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL:	43
2.3 COMBINACIONES Y POSIBILIDADES EN LOS SISTEMAS HÍBRIDOS: ..	45
2.3.1 Sistema híbrido con inversor bidireccional (configuración en AC):.....	47
2.3.2 Sistema híbrido con regulador de carga (configuración en DC):.....	48
2.3.3 Sistemas híbridos mixtos (configuración AC y DC):.....	49
2.3.4 Sistemas híbridos con inversor híbrido:	50
2.4 ELEMENTOS DEL SISTEMA HÍBRIDO EN ESTUDIO:.....	51
2.4.1 Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica:	51
2.4.2 Inversores:	55
2.4.3 Generadores de apoyo de combustible fósil:.....	58
3. CALCULO DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE IHOGA.....	59
3.1 DATOS DE IRRADIACIÓN:	59



3.2 CONSUMO DEL PERFIL ELEGIDO:	61
3.3 SISTEMA DE CÁLCULO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS:	62
3.4 CARACTERÍSTICAS PARA ELECCIÓN DEL INVERSOR:	63
3.5 CÓMO SELECCIONAR LAS BATERÍAS:	64
3.6 REGULADOR DE CARGA DE LAS BATERÍAS:	67
3.7 EL GENERADOR DE APOYO DE COMBUSTIBLE FÓSIL:	67
3.8 OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA:	68
4. SIMULACIONES CON IHOGA	71
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y ELEMENTOS DEL CASO1:	74
4.1.1 Datos de irradiación y ángulo de inclinación óptimo:	74
4.1.2 Perfil de consumo:	75
4.1.3 Paneles fotovoltaicos:	76
4.1.4 Modelo de batería:	77
4.1.5 Inversor:	78
4.1.6 Regulador de carga de las baterías:	78
4.2 SIMULACIÓN DEL CASO 1: PANELES+FOTOVOLTAICOS+BATERÍAS. 80	
4.3 SIMULACIÓN DEL CASO 2: GENERADOR DE COMBUSTIBLE FÓSIL ... 83	
4.4 SIMULACIÓN DEL CASO 3:	86
PANELES FOTOVOLTAICOS+BATERÍAS+GENERADOR DIESEL	86
5. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS TRES CASOS Y CONCLUSIONES	91
5.1 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO1:	91
5.2 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO2:	93
5.3 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO3:	94
5.4 CONCLUSIONES:	96
INDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	101

PREFACIO

En este proyecto haremos un estudio relacionado con las energías renovables. Desde hace años atrás se está apostando por este tipo de energías, debido a su emisión nula de gases nocivos para la atmósfera y su recurso ilimitado. Su investigación y desarrollo ha estado en auge desde sus principios con motivo de sustituir a los demás tipos de energías que usamos hoy en día de combustible fósil. Ya a nivel mundial se tiene cierta preocupación por el medio ambiente, se crean normativas en contra de la contaminación, y nos damos cuenta que los combustibles fósiles no son ilimitados, llegará el día en que comiencen a escasear. Estos motivos son los que impulsan el desarrollo de este tipo de tecnologías limpias que se investigan de manera que podamos usar cualquier recurso de la naturaleza, como es el sol, el viento, las corrientes de agua o incluso los desechos naturales entre otros.

Comenzaremos con una pequeña introducción (ya que estas energías son un tema bastante extenso, son ya muchos años de investigación) a los sistemas más usuales de generación renovable. Se comentarán uno a uno los aspectos clave de su funcionamiento, los distintos tipos de tecnologías y de que elementos se componen.

Una vez explicadas cada una en mayor o menor medida nos centraremos en la energía solar fotovoltaica y los sistemas híbridos que será el tema principal del proyecto. El estudio en primera instancia consiste en diseñar un sistema basado en energía solar para abastecer la demanda de una vivienda de uso permanente, se llevará a cabo con la ayuda de una potente herramienta como es el software de simulación para el dimensionado de sistemas híbridos IHOGA, creado por el Dr. Rodolfo Dufo López de la universidad de Zaragoza.

El desarrollo de las energías renovables ha llegado un punto en el que los sistemas híbridos juegan un papel importante. Estos sistemas, que se explicarán con más detalle, son una combinación de energías renovables utilizando en menor medida un apoyo de energía de combustible fósil. Se pueden combinar varios tipos de tecnologías renovables, o como en nuestro caso que sólo usaremos la energía solar fotovoltaica. El número de tecnologías a combinar ya dependerá de las condiciones del emplazamiento y el perfil de consumo al que esté destinado.



El caso de estudio será demostrar para un perfil de consumo determinado y aislado de la red, que un sistema híbrido fotovoltaico formado por paneles solares como generadores principales, un banco de baterías como almacenamiento de energía y un sistema de generación de combustible fósil del respaldo, es más económico y eficiente que un sistema que sólo utilice paneles fotovoltaicos y un banco de baterías. Para llegar a esta conclusión se creará el perfil de consumo necesario y se tomarán los datos de irradiación del emplazamiento seleccionado. Una vez obtenidos estos datos se seleccionarán los componentes que formarán la instalación, paneles, inversores, baterías, generador de respaldo etc... Y por último se realizarán tres simulaciones con el software haciendo un estudio energético y económico para dar a conocer qué tipo de sistema es más económico y eficiente. Partiendo de cómo hemos dicho que el sistema estará aislado de la red eléctrica, la primera simulación se hará con un sistema de paneles de generación fotovoltaica junto con un banco de baterías como elementos principales. El segundo caso estará compuesto únicamente por un generador de combustible fósil para abastecer toda la demanda. Y el tercero será un sistema híbrido formado por paneles fotovoltaicos, un banco de baterías y un generador de combustible fósil de respaldo.

Todos los detalles de cada simulación, como es el funcionamiento, tipo de componentes y aspectos económicos así como las conclusiones del proyecto se explicarán de manera más extensa en los capítulos correspondientes.

1. LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Son aquellas energías que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente.

Las energías renovables (al contrario de las energías clasificadas como no renovables, como combustibles fósiles) son recursos limpios y abundantes que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones dañinas para el medio ambiente como las de CO₂. Pese a estas ventajas, una de sus principales desventajas, es que la producción de algunas de dichas energías es intermitente, como ocurre por ejemplo con la energía eólica, que depende de la cantidad de viento en cada momento. Las condiciones climatológicas son un aspecto clave en este sector energético. Consideramos diferentes tipos de energías renovables, la energía eólica, hidráulica, solar térmica, termo solar, geotérmica y solar fotovoltaica (que será el tema principal de este proyecto). También podemos añadir a este grupo la energía mareomotriz y la biomasa. Cada una de ellas tiene se abastece de distintos recursos naturales, pero todos ellos fuertemente vinculados a la energía proporcionada por el sol al planeta.

1.1 LA ENERGÍA EÓLICA

Este tipo de energía utiliza el viento como recurso para producir energía mecánica. Pero, ¿cómo se genera el viento? La formación del viento está relacionada con las grandes masas de aire que se desplazan de las zonas de altas presiones atmosféricas hacia zonas de menor presión, cuya velocidad depende proporcionalmente del gradiente.

Entre el 1 y el 2 por ciento de la energía proveniente del sol se transforma en viento, debido al calentamiento de la superficie terrestre a causa de la radiación solar. Por el día los continentes transfieren al aire la energía recibida por el sol, éste al calentarse se eleva y se expande dejando un lugar que ocupa el aire frío transferido por las grandes masas de agua (mares, océanos...) ya que es más pesado que el aire caliente. Otras fuerzas implicadas en el movimiento de estas masas son la fuerza gravitacional, de fricción y de coriolis. A parte de la topografía del terreno, o la climatología que afectarán en su velocidad y en la formación de las corrientes de aire

No todo el viento es aprovechable, para que los sistemas eólicos puedan transformarlo en energía eólica se deben cumplir unos requisitos de velocidades máximas y mínimas. Por ello es importante conocer las variaciones nocturnas y diurnas del viento, el histórico de velocidades máximas como mínimo de 20 años, y la variación de la velocidad con respecto a la altura del suelo. La velocidad

máxima del viento no debe superar los 25m/s (90km/h) llamada “cut-out speed” y dependiendo del aerogenerador utilizado, el rango de velocidad mínima para que se empiece a generar energía eléctrica está comprendido entre los 3m/s y 4m/s (10 km/h y 14,4 km/h respectivamente) “cut-in speed”

En la fórmula para estimar la velocidad del aire a una altura determinada, podemos observar como dicha velocidad depende de la altura del terreno y del coeficiente α de rugosidad.

$$v = v_0(h/h_0)^\alpha$$

v : velocidad del viento a la altura h sobre el punto de velocidad nula

α : Coeficiente de distribución del viento. Su valor depende de la rugosidad del terreno.

v_0 : velocidad del viento en el punto de medida h_0

La finalidad de esta tecnología es la de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. En el caso de las aerobombas dicha energía mecánica se utiliza únicamente para el bombeo, por otro lado los aerogeneradores transforman la energía en electricidad para el consumo.

Veamos en qué consisten ambas tecnologías.

1.1.1 Aerobombas:

Como ya hemos dicho, el movimiento de las hélices del molino se utiliza únicamente para el bombeo de agua, y dentro de este grupo destacan tres tipos:

- *Molino de viento:*

Es el sistema más antiguo de este tipo, que data aproximadamente de 1850, por eso es el más “rústico” de los tres tipos.

Se caracteriza por tener de 12 a 24 palas con radios comprendidos entre 1y 5 metros. Se aplican en zonas donde la velocidad del viento no supera los 5m/s. Consiste en una bomba de pistón accionada por barra vertical tipo biela-manivela. Llevan caja de engranajes que le permite bombear a mayores profundidades aminorando la velocidad y así reduciendo la fatiga y las probabilidades de rotura.

Como inconvenientes, el rendimiento es muy bajo, en torno a un 5%, son muy pesados, y el molino debe de estar en el pozo de agua del que se hace la extracción.

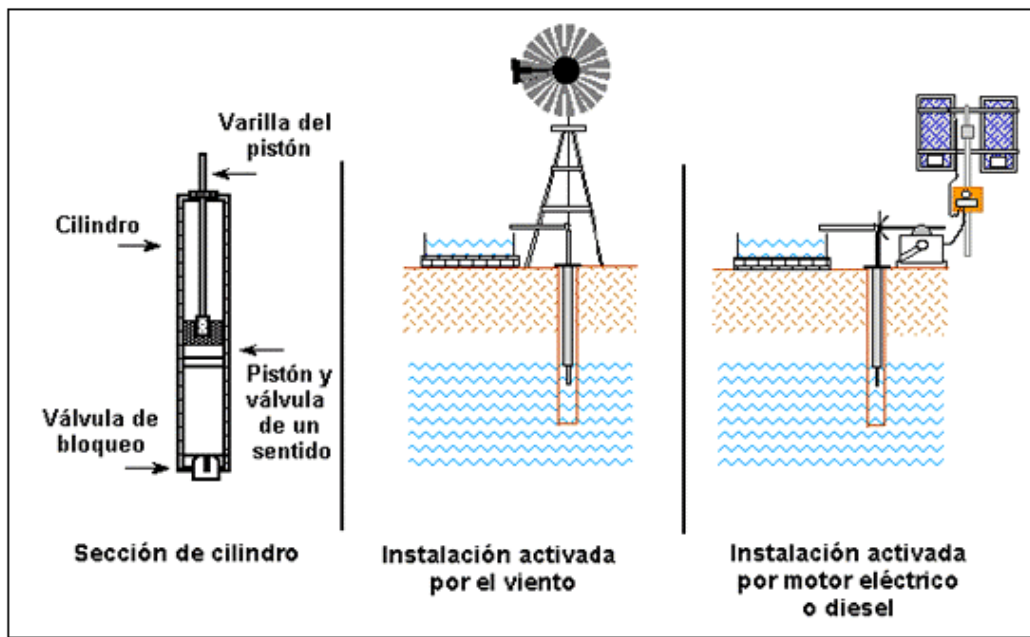


Ilustración 1: Esquema molino de viento multipala tradicional

- Aerobombas de segunda generación:

Su nombre se debe a que son muy similares a las anteriores pero con algunas mejoras que aumentan su rendimiento.

Formadas por bomba de pistón pero con un pequeño agujero en éste, consiguiendo un par de arranque menor, lo que le permite arrancar con una velocidad del viento menor. Son más ligeras, más baratas y más eficientes. Como desventaja desaparece la caja desmultiplicadora de engranajes que disminuye su vida útil a causa de soportar mayores cargas. (El esquema es similar al anterior modelo)

- Bombeo eléctrico:

En este caso se utilizan aerogeneradores, que transforman el viento en electricidad y a su vez éste alimenta a una bomba también eléctrica. El diámetro de los rotores varían entre 2 y 20 m. Tienen mayor fiabilidad, y rendimiento que las anteriores. Otro punto a favor es que este tipo de bombas no necesita estar en el pozo de extracción, aunque no funcionan con velocidades del viento inferiores a los 4m/s. Es la opción con mayor inversión de las tres, pero sin duda es la configuración más eficiente a largo plazo.

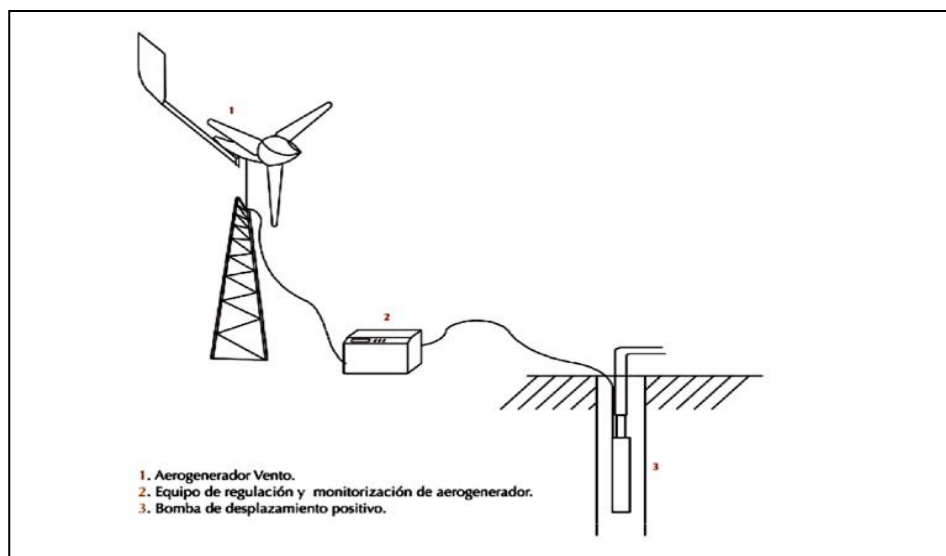


Ilustración 2: Sistema eólico-eléctrico aislado para bombeo

1.1.2 Aerogeneradores:

De igual manera que las aerobombas, los aerogeneradores son “molinos” que aprovechan la energía del viento para generar un trabajo, que en este caso se utiliza para mover un alternador y generar energía eléctrica. El funcionamiento es simple, el viento incide en las palas de la hélice haciéndola girar (rotor), y éstas a su vez mediante un eje solidario transmiten el movimiento a una caja multiplicadora mediante la cual se puede regular la velocidad de giro, así se garantiza una mayor eficiencia y regulación en la generación. Después de la caja de engranajes, se encuentra el alternador encargado de transformar el movimiento en energía eléctrica.

Según la posición del eje podemos distinguir entre dos tipos de turbinas, las de eje vertical (Darrieus y Savonius) y las de eje horizontal estas últimas de mayor eficiencia.

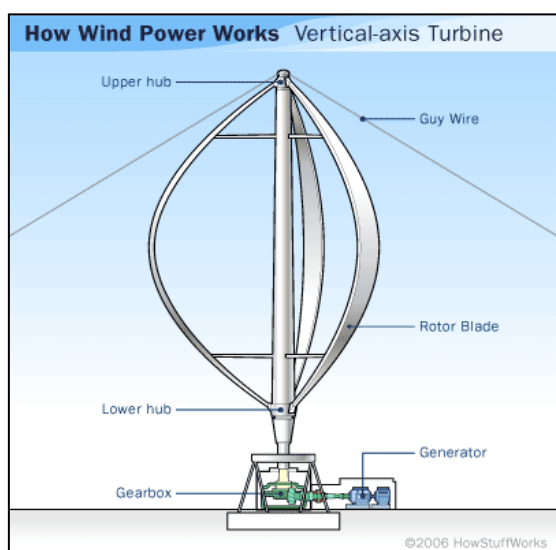


Ilustración 4: Turbina Darrieus

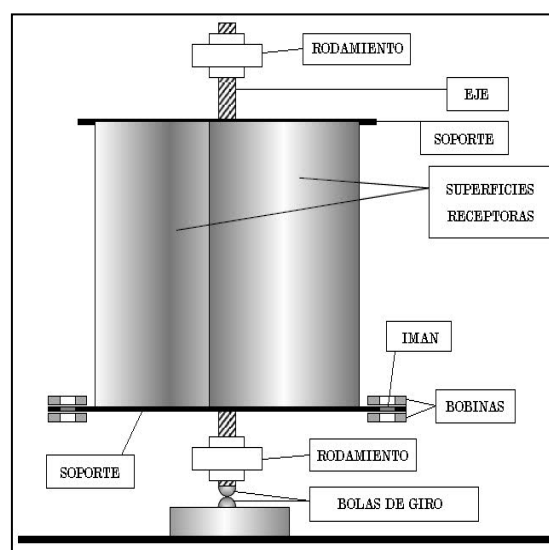


Ilustración 3: Turbina savonius

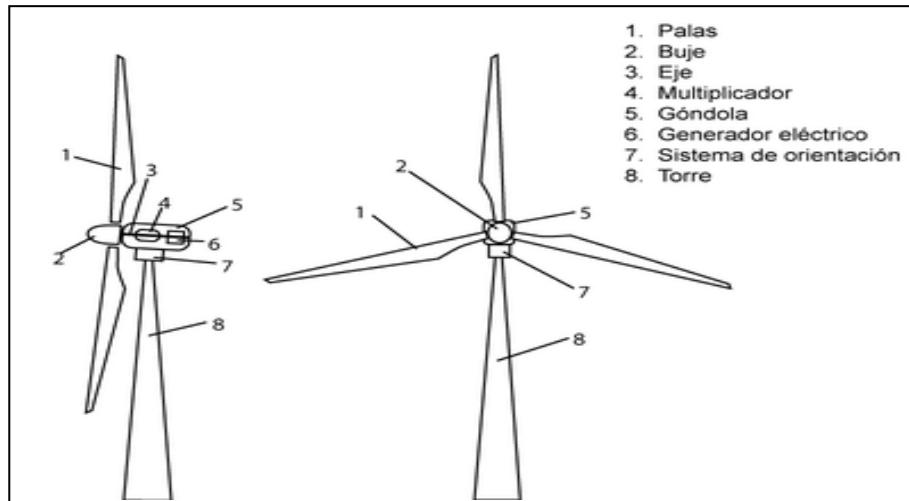


Ilustración 5: Aerogenerador de eje horizontal

Nos centraremos en los componentes y funcionamiento de éste último tipo de turbinas, las de eje horizontal, ya que son las que ofrecen un mayor rendimiento y son las más utilizadas hasta el momento.

Comenzaremos por una breve explicación de las partes de las que se compone.

- **Rotor:** Formado por el buje, que une las palas solidarias al eje lento (antes de la caja multiplicadora) y las palas, de materiales compuestos y ligeros, encargadas de transformar la energía cinética del viento en un momento torsor al eje del aerogenerador. Puede llegar a tener diámetros de hasta 82 metros y producir potencias de varios MW. Las palas pueden ser fijas, o poder variar su ángulo para variar la oposición a la velocidad del viento, y a su vez controlar la velocidad del eje.

- **Multiplicador:** Dependiendo del modelo puede existir o no. Se encarga de transformar las bajas revoluciones de giro del rotor en altas revoluciones en el eje del generador eléctrico.

Góndola: Se trata de la envolvente que sirve de alojamiento para las partes mecánicas y eléctricas del aerogenerador.

- **Generador eléctrico:** Dependiendo del diseño del sistema pueden ser de diferentes tipos, de jaula de ardilla, síncronos, asíncronos, doblemente alimentados, con imanes permanentes o excitación. De cualquier forma es el encargado de convertir la energía del eje de transmisión en energía eléctrica.

- **Sistema de control:** controla la posición de las palas, la orientación de la góndola y la potencia entregada por el generador. Todo ello para obtener la máxima eficiencia con la mayor seguridad.

Torre: Soporta todo el peso de los componentes y las fuerzas producidas por el giro de las palas, y por otro lado proporciona la altura necesaria para alcanzar vientos de mayor intensidad.

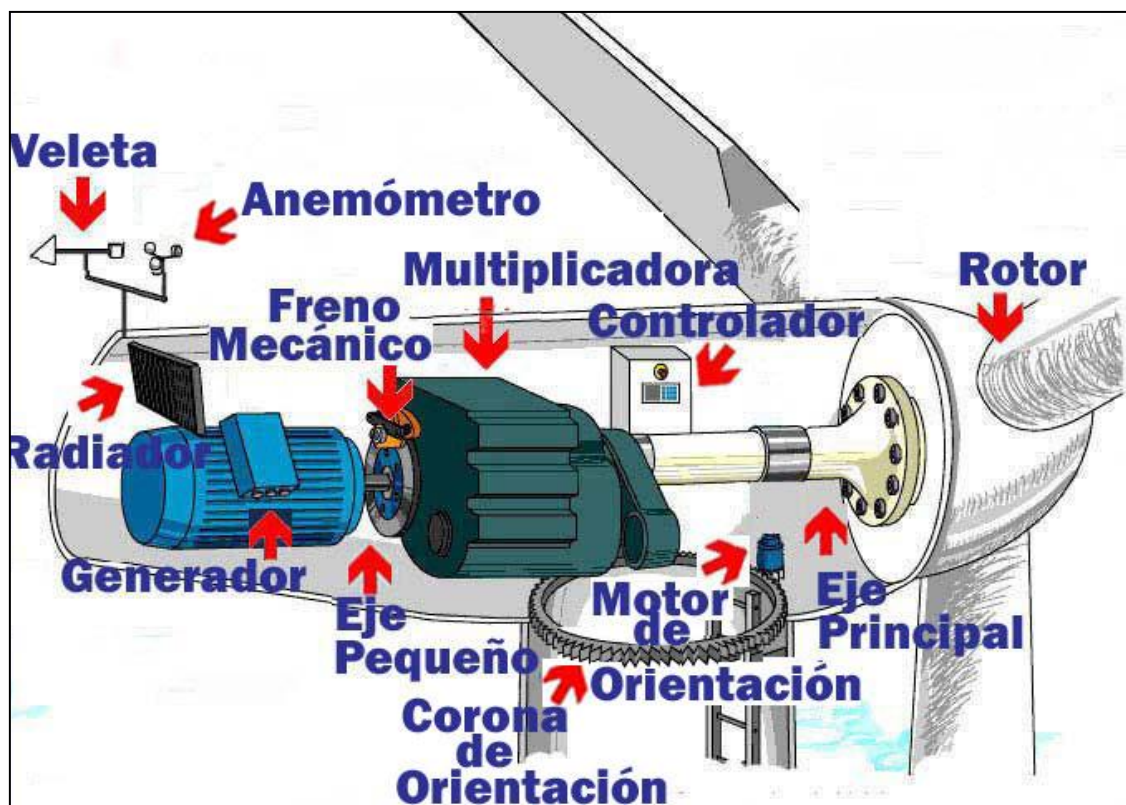


Ilustración 6: Esquema aerogenerador eje horizontal

Una vez explicadas la partes de las que se compone, damos paso a comentar como se produce el arranque, la conexión a la red de transporte y la parada de estos sistemas.

Arranque: Este sistema dispone de sensores de velocidad del viento (anemómetros de turbina) encargados de detectar el viento en cualquier dirección, y con ello dar las órdenes convenientes al sistema de control del aerogenerador para ponerlo en funcionamiento. Entre 2 m/s y 3 m/s se da la orden de orientación de la turbina, colocándose ésta frente al viento. A partir de los 3 m/s los frenos se desacoplan dejando al rotor girar con la actuación del viento, y en el caso de tener palas de paso variable, girarán progresivamente con respecto a la velocidad que va adquiriendo el rotor de un ángulo de 90° hasta 0°. Cuando el generador eléctrico alcance la velocidad de sincronismo, (igual o superior a las 1500 rpm dependiendo del generador seleccionado) se conecta a la red de forma suave, mediante el equipo de electrónica de potencia

compuesto por tiristores¹. En dicha conexión se conecta el generador directamente a red mediante un interruptor. La velocidad del generador será constante y estará limitada únicamente por la frecuencia de la red.

- **Parada:** Hay varios motivos por los que se puede producir una parada de aerogenerador. Puede tratarse de una parada manual por el personal de mantenimiento. Por otro lado se puede producir tanto por velocidades de viento altas como demasiado bajas. En el caso de velocidades altas, esta parada se realiza si se superan los valores de 25 m/s o 90 km/h; en velocidades bajas, se detendrá al detectar poca generación, y también en caso de error de los anemómetros de la turbina.

Los modos de detención del sistema pueden ser de las siguientes formas.

- **Parada de emergencia:** se activan los frenos a máxima presión desde que se detecta un error, o algún problema que pueda poner en peligro la integridad del equipo humano o de la propia instalación.

- **Parada suave:** aquí tenemos que distinguir si el sistema dispone de palas de paso fijo o variable. En el caso de palas de paso variable, se envía una orden a los actuadores encargados del giro de las palas de colocarlas progresivamente a 90°, a su vez se desconecta el generador y se ejerce una presión cada vez mayor en el sistema secundario de frenada. Si el sistema es de paso fijo, el controlador envía una orden al captador para desplegar los aerofrenos, desconecta el generador, y aplica los frenos de forma suave según detecta la disminución de rpm hasta que éste quede totalmente parado. Y en el caso de cambio de devanado, no podemos hablar de parada pero si de una disminución de la velocidad en el caso que se pase del generador grande al pequeño. Si queremos hacer esta operación en sentido inverso, el generador de menor tamaño se desconecta dejando que el rotor adquiriera mayor velocidad, hasta que alcance la velocidad de sincronismo del generador de mayor tamaño y entonces se acoplará de nuevo.

¹ El avance de la electrónica de potencia en cuanto a inversores y rectificadores, fue de gran ayuda para facilitar las conexiones a red, la regulación de velocidad del alternador e incluso el factor de potencia en este tipo de generación.



Una vez explicados los componentes y su funcionamiento, pasamos a explicar sus aplicaciones y aspectos económicos en cuanto a la generación.

Sus aplicaciones van desde pequeños abastecimientos en sistemas aislados de orden de los 60 ó 70 kW, hasta grandes parques eólicos incluidos en la generación nacional de energía de hasta 10 MW por unidad de generación².

En dichos parques eólicos, los aerogeneradores se colocan de forma alineada unos con otros y en contra de la dirección predominante del viento en el emplazamiento donde se encuentren. Guardando una distancia suficiente entre aerogeneradores para que no interfieran las turbulencias de las palas entre unos y otros.

Se pueden conectar todas las máquinas entre ellas o en grupos conectadas a transformadores de tensión, (dependiendo de la potencia del parque) que posteriormente en la subestación se adecuará esta tensión a las condiciones de la compañía eléctrica. En la siguiente imagen podemos observar que en función de la potencia nominal ofrecida por los aerogeneradores y las horas de trabajo anual de los mismos, obtenemos la energía producida por el parque en un año.

² Como es el caso del aerogenerador Sea Titán de la empresa estadounidense AMSCSe, con un diámetro de rotor de 190 metros y una potencia nominal de 10MW en su turbina.

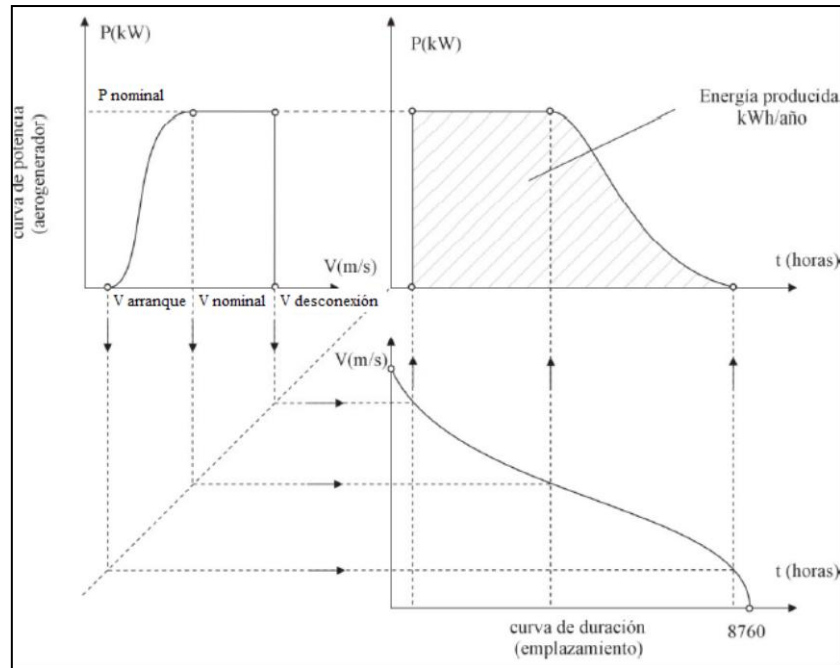


Ilustración 7: Curva de potencia de un aerogenerador y energía producida anual en kWh/año

En cuanto a la rentabilidad y eficiencia de los parques eólicos, tenemos que tener en cuenta que en contra de ventajas como el coste de inversión no muy alto y de la madurez de esta tecnología, existen inconvenientes tales como la incertidumbre del recurso viento (no siempre habrá el viento estimado), la necesidad de una mínima velocidad del viento para garantizar la generación y las actualizaciones de las tarifas y ayudas en la creación de estos parques. Esto provoca inseguridad en los inversores, que buscan alternativas a los emplazamientos buscando lugares con unas probabilidades más altas de disponer de este recurso tan aleatorio. Por estos motivos se apostó por la energía eólica marina (off-shore)

Pero este tipo de parques ubicados en el mar también tienen sus ventajas y desventajas. Ofrecen mayor vida útil y disminución de la fatiga, menor rugosidad del terreno y menos obstáculos, y por otro lado se puede aumentar la velocidad de punta de pala ya que existen menores riesgos que en zonas urbanas. Como inconvenientes, se encuentran en los costes de cimentación y construcción en alta mar, y la falta de recurso para hacer llegar la energía producida a los puntos de consumo.

1.2 ENERGÍA HIDRÁULICA:

Una vez más en este tipo de energía el sol tiene un papel importante en el ciclo del agua. Como ya sabemos es el encargado de proporcionar la energía calorífica necesaria para que se produzca la evaporación del agua, que una vez alcance una determinada altura y temperatura se precipitara en estado líquido. Es cuando jugamos nuestro papel a la hora de producir energía, acumulando dicha agua en embalses y controlando la descarga de éstas cuando sea necesario. Esta descarga se aprovecha para convertir el movimiento del agua en energía mecánica a través turbinas hidráulicas, ya sea mediante energía potencial por diferencias de altura, o por otro lado en energía cinética aprovechando su velocidad.

La turbina es el elemento esencial que permite la conversión de la energía potencial en energía mecánica. Se pueden distinguir dos tipos de turbinas según su funcionamiento, las de reacción y las de impulso.

En turbinas de reacción, se necesitan tanto la velocidad del agua como la diferencia de presiones para generar potencia. El rotor está sumergido y la velocidad y la presión se reducen en el proceso de turbinado.

En turbinas de impulso, la diferencia de altura se obtiene la energía cinética antes del rotor (que no se encuentra sumergido) por lo que el fluido se encuentra a presión atmosférica.

Se utilizan distintos diseños de turbinas hidráulicas según tamaño o potencia de la central, turbina Francis, turbina Kaplan y turbina Pelton.

-Turbina Pelton: son turbinas diseñadas para grandes saltos de agua con bajo caudal, y su rendimiento está en torno al 90%. Es una turbina de impulso, con palas en la periferia de su rotor en las que se inyecta el agua a través de un inyector para aumentar la velocidad de salida del flujo. Este inyector es regulable, lo que nos permite variar la potencia según el caudal de dicho elemento.

Partes de una Turbinas Pelton

1. Codo de entrada
2. Inyector
3. Tobera
4. Válvula de aguja
5. Servomotor
6. Regulador
7. Mando del deflector
8. Deflector
9. Chorro
10. Rodete
11. Álabes o cucharas.
12. Freno de la turbina
13. Blindaje
14. Destructor de energía

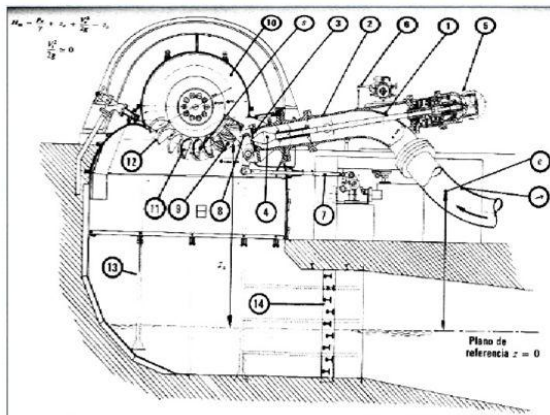


Ilustración 8: Esquema turbina Pelton



Ilustración 9: Imagen real turbina Pelton

- **Turbina Francis:** es una turbina de tipo reacción de flujo axial, con eje vertical, sumergido. Es la más utilizada debido al amplio rango de saltos (desde los dos metros hasta varios cientos) y caudales en los que funciona. Formada por un colector con forma de caracol y sección decreciente. Esta forma de caracol del colector consigue mantener la velocidad media del fluido constante, y se encarga de dirigir el flujo de agua hacia un distribuidor. Este distribuidor está compuesto por una serie de álabes móviles que direccionan y regulan el caudal de agua hacia el rotor, permitiendo variar la potencia entregada según variemos el caudal, y así adaptarse mejor a las necesidades de la demanda (imágenes 3 y 4). Una vez llegue al rotor se produce la transferencia de energía del agua hacia éste. La energía cinética, potencial y de presión del agua se convierte en energía mecánica que hace girar al rotor, y este a su vez mueve el generador eléctrico acoplado al mismo eje. Por último, para obtener parte del trabajo en la turbina que no haya sido entregada al rotor, un tubo de aspiración en forma de difusor da continuidad al flujo y recupera el salto perdido en instalaciones que estén por encima del agua a la salida.

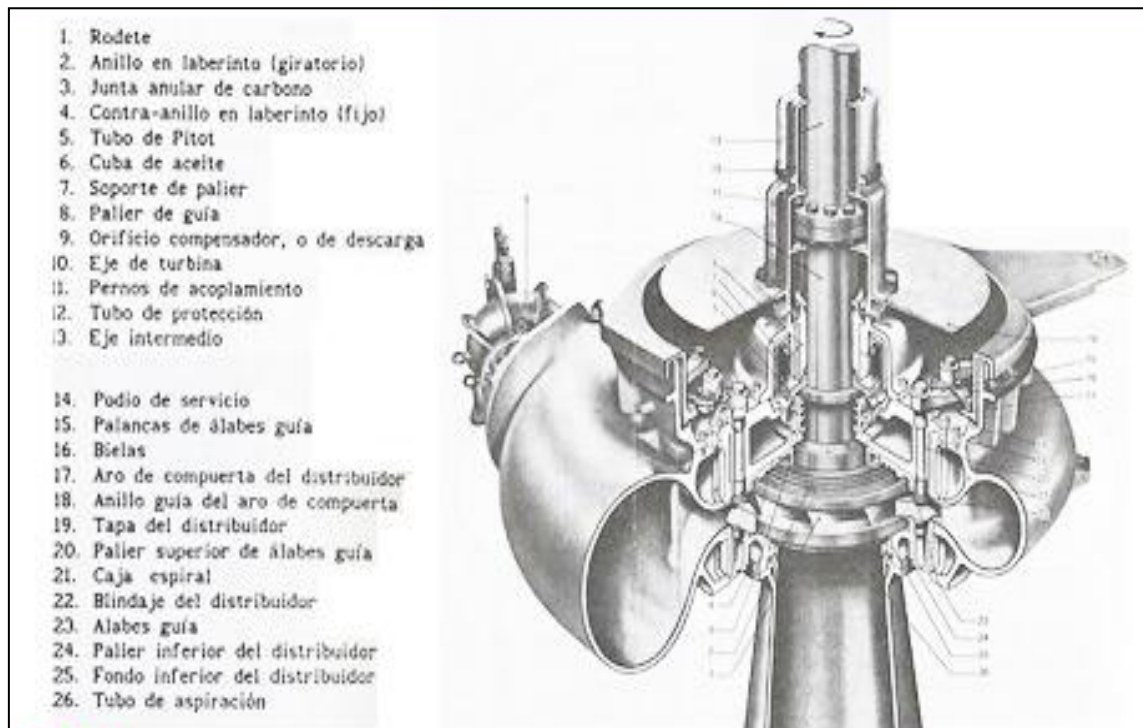


Ilustración 10: Esquema turbina Francis

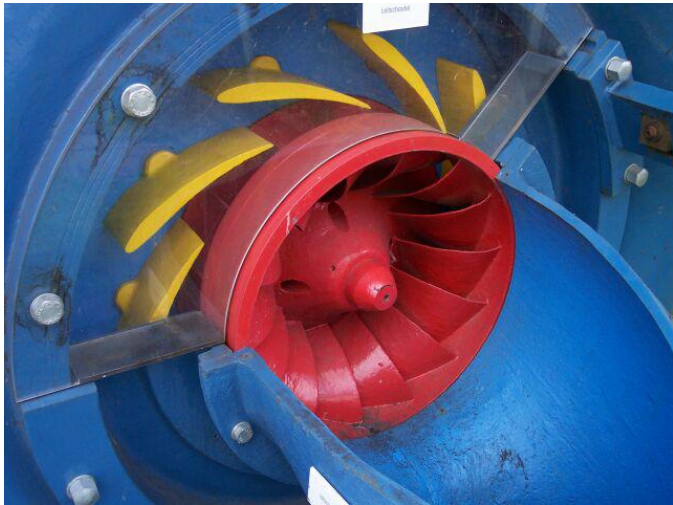


Ilustración 13: Álabes del distribuidor (amarillo) colocados en posición de máximo caudal

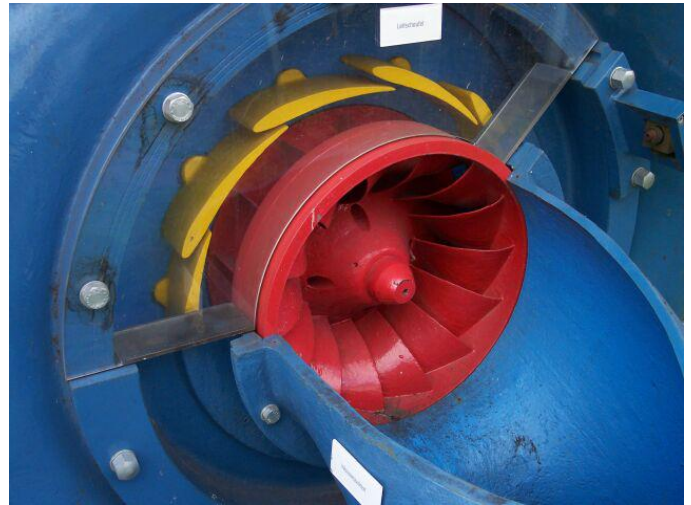


Ilustración 12: Álabes del distribuidor (amarillo) colocados en posición de mínimo caudal



Ilustración 11: Turbina Francis

- **Turbina Kaplan:** son uno de los tipos más eficientes de turbinas de reacción de flujo axial y se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales. Muy similares al funcionamiento de las turbinas Francis con la diferencia de que estas son reversibles, pueden funcionar también como grupos de bombeo. Los álabes del rotor de estas turbinas son siempre regulables, mientras que los del distribuidor pueden ser fijos o regulables. Dependiendo si los álabes del distribuidor son regulables o fijos se distinguen dos tipos, Kaplan verdadera o Semi-Kaplan respectivamente. La primera de admisión axial, mientras la segunda admite tanto axial como radial.

Una vez explicado el funcionamiento y tipos de turbinas, vamos a hablar sobre los tres tipos de centrales hidráulicas utilizados, centrales hidroeléctricas convencionales, hidroeléctrica de bombeo y centrales mareomotrices.

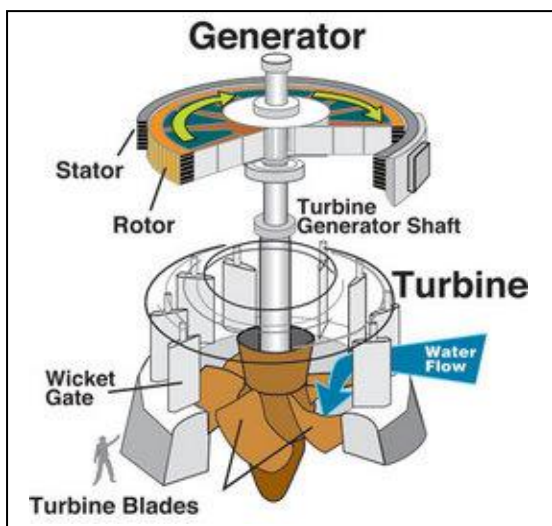


Ilustración 14: Esquema turbina Kaplan



Ilustración 14: Foto real turbina Kaplan

1.2.1 Hidráulica convencional:

La tecnología hidráulica se basa principalmente en almacenar el agua de las precipitaciones en embalses. Estos embalses se construyen en el curso de los ríos, y como se mencionó, de este modo se puede controlar mediante presas la descarga de agua adecuándose a la demanda del mercado.

La central hidroeléctrica se sitúa en la parte baja de la presa (a pie de presa). En esta parte está ubicada una válvula que regula el paso del fluido, conducido hacia la central compuesta por una turbina hidráulica formada por álabes, consiguiendo así aprovechar el paso del agua a través de la válvula para generar energía mecánica. Esta energía mecánica es convertida en energía eléctrica por medio de un alternador acoplado a la turbina. Una vez se ha generado la energía eléctrica, ésta pasa por la subestación elevadora conectada a la red para abastecer la demanda exigida por los consumidores. (En la ilustración 3 se puede observar las diferentes partes de las que consta este sistema.)

Podemos clasificarlas según la altura del salto de agua o según potencia de la central.

<i>Según altura del salto:</i>	<i>Según potencia:</i>
- pequeña altura ($< 15\text{m}$)	- pequeña potencia ($< 100\text{kW}$)
- media altura ($15 < H < 50\text{ m}$)	- media potencia ($1 < P < 10\text{ MW}$)
- gran altura ($> 50\text{ m}$)	- gran potencia ($> 10\text{ MW}$)

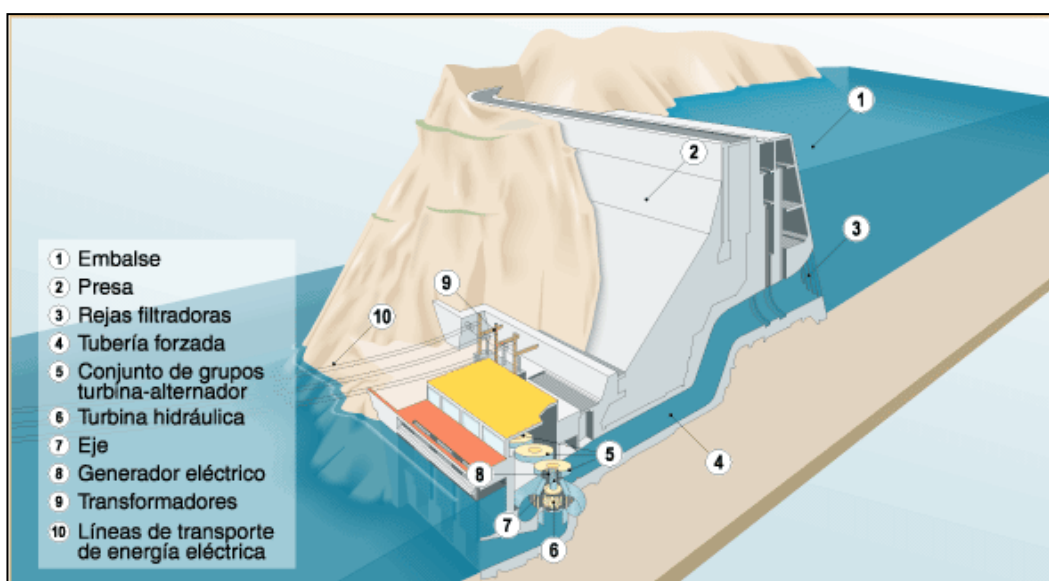


Ilustración 15: Central hidroeléctrica convencional

1.2.2 Centrales de bombeo

Muy similares a las centrales anteriores pero este sistema consta de dos embalses, uno superior y otro inferior. En principio la generación es idéntica al de una central convencional, se regula el paso de agua mediante una válvula, pasando la corriente de agua por una turbina acoplada a un alternador y llegando al embalse inferior. Cuando es necesario recuperar fluido en el embalse superior para una nueva generación, se bombea desde el embalse inferior al superior. Este sistema parece que produce la misma energía que consume, pero el beneficio en realidad esté relacionado con las curvas de oferta y demanda de la electricidad; generando electricidad en las horas punta, cuando el precio de ésta es superior, y bombeando en las horas valle cuando el kW/h es más económico. Al poder controlar la generación de este tipo de centrales, éstas se utilizan a nivel nacional, como apoyo en horas punta al resto de centrales de energía no renovable (térmicas y nucleares), reduciendo así el coste de producción de energía global.

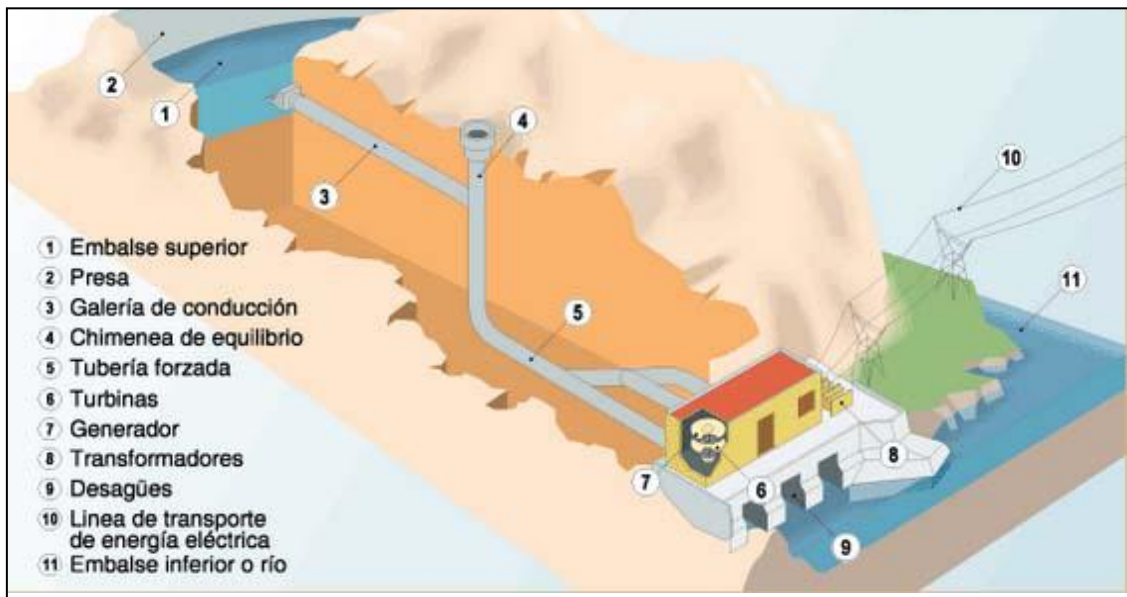


Ilustración 16: Central hidroeléctrica de bombeo

1.2.3 Energía mareomotriz

El funcionamiento en sí es similar al de las anteriores energías. En resumen, se aprovecha la energía para mover un generador y producir electricidad para su posterior consumo. En este caso la energía que se aprovecha es la que se produce por el movimiento de las mareas. Una de las principales ventajas (aparte de ser una energía limpia al igual que el resto de las estudiadas) es que tiene un suministro seguro y predecible, ya que se atiene simplemente a los ciclos de las mareas y corrientes marinas. Como hemos dicho al principio de este proyecto el Sol estará presente en todo tipo de energías renovables en mayor o menor medida. Pero en esta forma de generación, también tienen un papel importante el planeta Tierra y sobre todo la Luna por su cercanía a nosotros.

Todo cuerpo sufre el efecto de la fuerza de la gravedad, y cuanto mayor sea un cuerpo mayor será la fuerza de atracción que ejerza en otros cuerpos más pequeños. Esto es lo que provoca que la Tierra y la Luna se atraigan, y que satélites, planetas y demás elementos del universo formen órbitas alrededor de cuerpos mayores. Como sabemos la órbita lunar no es una circunferencia perfecta con la Tierra en el centro de ésta. Por tanto la Luna no está siempre a la misma distancia del planeta, y esto provoca fuerzas mayores y menores de atracción entre ellas dependiendo si están más cerca (perigeo) o más lejos (apogeo) respectivamente. Estas fuerzas donde más se sufren son en el agua de los océanos y mares, debido a su estado líquido, y con ello se crean las mareas³.

Las infraestructuras dedicadas al aprovechamiento de la energía del mar, se instalan en profundidades del océano, en las desembocaduras de los ríos y ríos profundos, dependiendo del tipo de instalación a utilizar. Se pueden distinguir tres métodos de generación hasta el momento, mediante presa de marea, generador de corriente de marea, o mareomotriz dinámica.

³ Como curiosidad, se dice que la Luna cada vez se está alejando más de nuestro planeta (3,8cm/año), lo que provocaría en un futuro muy lejano que desaparecieran las mareas, oscilara mucho más el eje terrestre y no existiría la rotación del planeta.

1.2.4 Presa de marea:

Este método aprovecha la energía potencial producida por la diferencia de altura que existe entre marea alta y baja. Se colocan en las desembocaduras de los ríos hacia los océanos (estuarios) ocupando todo el ancho de éste. El embalse se llena durante la marea alta (pleamar), se cierran las compuertas esperando a que baje la marea (bajamar) y así conseguir una diferencia de alturas adecuada para la generación. Una vez conseguido esto se procede a la descarga del agua a través de las turbinas, que a su vez acopladas a generadores eléctricos, aprovecharán la energía cinética del agua para generar electricidad.

Este tipo de generación sufre altos costes de inversión inicial, y los largos períodos de construcción que conllevan, unido a la dificultad de encontrar emplazamientos adecuados. Estas desventajas hacen menos atractiva la inversión frente a otro tipo de instalación mareomotriz.

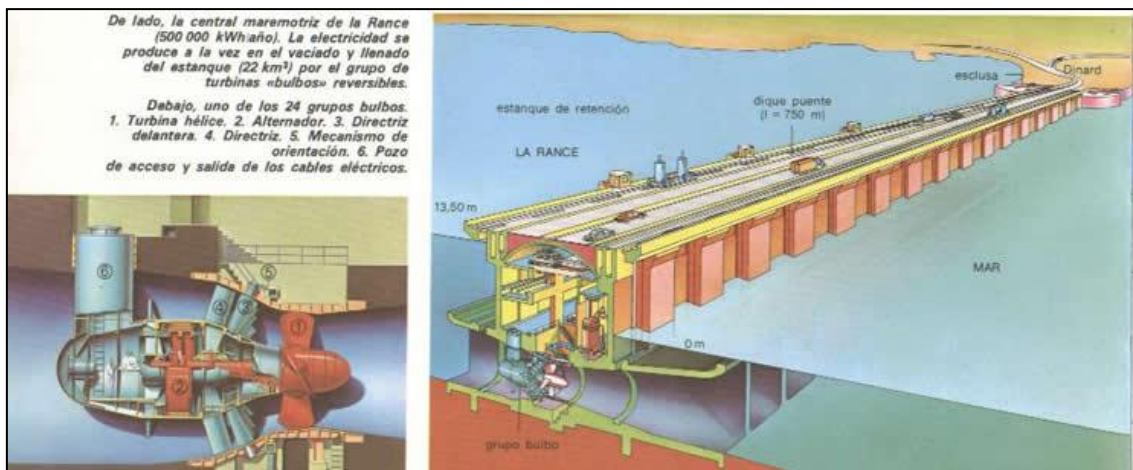


Ilustración 17: Esquema presa de marea

1.2.5 Generador de la corriente de marea:

Son sistemas prácticamente idénticos a los aerogeneradores, pero bajo el agua, y en vez de utilizar el viento, se aprovechan de la energía cinética de las corrientes marinas para mover el generador. El interés por este tipo de instalaciones está aumentando debido a su coste de inversión medianamente bajo en comparación con las presas de marea, y menor impacto que supone para el medio ambiente,

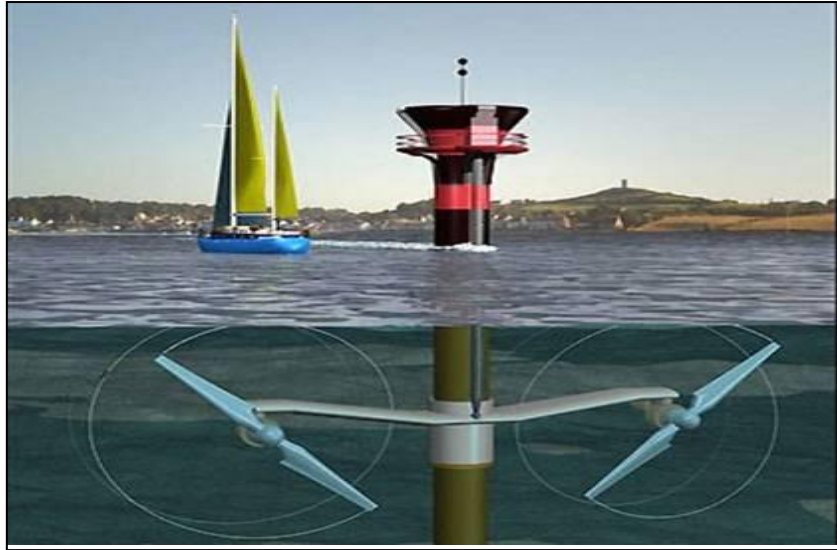


Ilustración 18: Generador de corriente de marea

1.2.6 Energía mareomotriz dinámica:

En este tipo de generación teórica, se propone la construcción de enormes presas de hasta 50 km de longitud. Se trata de construirlas desde la costa hacia mar adentro sin encerrar ninguna masa de agua. Con ello se pretende explotar la interacción de energía potencial y cinética por diferencias de marea en las corrientes marítimas que oscilan paralelas a la costa. Con este modelo de instalación se estima que se podría llegar a generar hasta 18GW de potencia por cada represa.

En la siguiente imagen se indican en rojo las mareas altas y en azul las bajas. En amarillo tierra firme y presa.

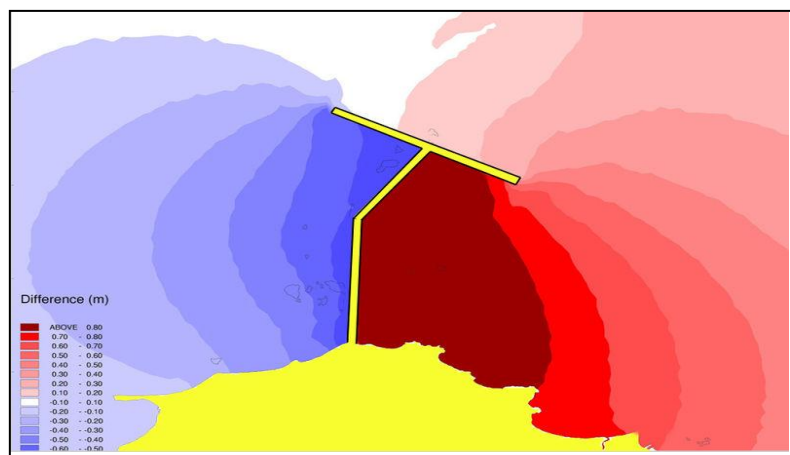


Ilustración 19: Mapa de diferencia de mareas

1.3 ENERGÍA SOLAR:

Como ya se ha explicado, el sol está involucrado en todos los recursos energéticos de los que se abastecen los sistemas de generación renovables. En este caso se habla de energía solar para los sistemas que se abastecen directamente de la radiación electromagnética del sol. Este tipo de energía se utiliza tanto para la generación de electricidad como para obtener energía térmica por medio de diversos captadores, del tipo de células fotovoltaicas, colectores térmicos o heliostatos.

Este tipo de captadores se denominan de carácter activo ya que son herramientas específicas creadas para la recolección del sol. Por otro lado se usan técnicas de carácter pasivo, como la orientación de edificios hacia el sol, utilizar materiales con masas térmicas favorables o construcciones que faciliten la ventilación natural.

Veamos a continuación cómo y qué cantidad de radiación electromagnética llega hasta nosotros y de qué manera se puede aprovechar.

Se llama radiación solar al flujo de ondas electromagnéticas emitidas por el sol. El sol es una estrella en la que se producen una serie de reacciones nucleares que provocan la pérdida de masa, y ésta a su vez se transforma en energía según la famosa ecuación de Albert Einstein:

$$E=mc^2$$

Donde “E” es la energía liberada cuando desaparece una masa “m” a la velocidad de la luz “c” elevada al cuadrado. Dicha energía es liberada hacia el exterior en forma de ondas como ya hemos dicho. Esta liberación de energía sigue la ley de Max Planck, que define la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro a una temperatura citada, que para el sol son aproximadamente unos 6000K. Sin extendernos mucho en dicha ley, una de sus aplicaciones es conocer el rango de longitudes de onda que comprende la radiación solar. Está comprendido entre 150nm y 4000nm, y el máximo de emisión se da a 475nm⁴. Siendo el rango de espectro visible entre 380nm y 830nm, por lo que el máximo está dentro de este intervalo y es de tonalidad verdosa.

⁴ Esta longitud de onda para la cual la radiación solar es la máxima emitida se rige por la ley de Wien, que relaciona inversamente la longitud de onda de máxima radiación con la temperatura.

Aproximadamente del total de radiación que entra en nuestra atmósfera, en su capa más alta, un 30% se reflejará al espacio y el resto llegará a la superficie (aproximadamente $1,37 \text{ kW/m}^2$) siendo absorbida por mares, masas de tierra y nubes.

Para medir la potencia con la que incide la radiación, definimos la magnitud irradiancia, que a grandes rasgos es la potencia incidente de cualquier tipo de radiación electromagnética por unidad de superficie. Esta magnitud depende de las condiciones climatológicas, así como de la latitud y de las características de la masa de aire que tiene que atravesar que es cambiante según las estaciones del año.

Según la incidencia de dicha radiación, podemos distinguir tres tipos que forman lo que conocemos como radiación global:

- **Radiación difusa:** esta radiación va en todas direcciones a causa de las absorciones y reflexiones producidas por las partículas de polvo en el ambiente, las nubes, montañas etc...

y como característica, respecto a los objetos opacos interpuestos en dicha radiación no produce ninguna sombra.

- **Radiación directa:** en este caso hablamos de rayos que proceden directamente del sol, sin ningún tipo de desviaciones. Este tipo si crea una sombra bien definida respecto a objetos interpuestos.

- **Radiación reflejada o de albedo:** es aquella reflejada por la superficie terrestre, en parte procedente de la radiación incidente en montañas, edificios etc... La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la naturaleza del medio en el que incide, los objetos o superficies en posición vertical, son los que más radiación reflejada reciben.

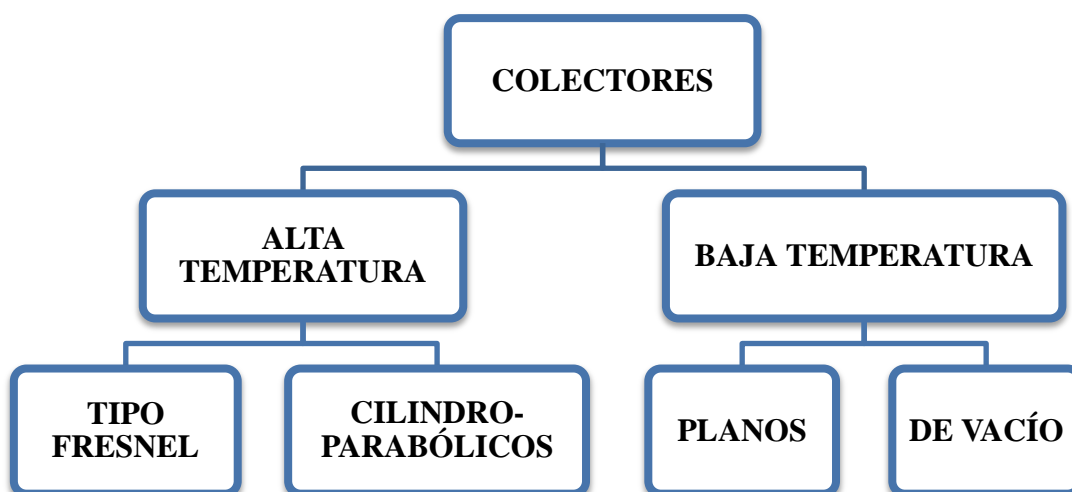
1.3.1 Energía solar térmica:

Consiste en aprovechar la energía procedente de la radiación solar para la producción de calor. Este calor puede ser utilizado para uso doméstico (calentar alimentos, calentar agua para sanitarios, calefacción etc...) o incluso para uso industrial, dependiendo de las dimensiones de la instalación.

Dependiendo de la temperatura de trabajo podemos distinguir tres tipos de colectores:

- **Colectores de baja temperatura:** proveen calor útil por debajo de los 65°C.
- **Colectores de temperatura media:** trabajan a temperaturas entre 100° C y 300°C.
- **Colectores de alta temperatura:** que se utilizan para más de 500°C

Estos tres tipos a su vez forman tres generaciones de energía, de baja temperatura, de media y de alta.



- **Colectores tipo Fresnel:** Son espejos planos largos con una pequeña curvatura, que concentran la radiación en uno o varios receptores, calentando el fluido evaporándolo inmediatamente. Tienen un coste menor, pero a su vez un rendimiento anual menor respecto a los cilindro-parabólicos que se explicaran a continuación.

- **Cilindro-parabólicos:** Idéntico funcionamiento que los anteriores. Reciben la radiación solar y la concentran en un punto, elevando así la temperatura del fluido. El coste es algo mayor que los anteriores debido a la curvatura de los espejos.

- **Colectores Planos:** contruidos en una sólida caja de metal bien aislada y protegida por un cristal. Este tipo de colector puede presentar condensaciones en su interior, sobre todo cuando se deteriora la junta existente entre la caja y el cristal, dando lugar a corrosiones y afectando negativamente en su rendimiento. Otro problema que presentan es que en su interior contienen aire, lo que provoca sobre todo en días de viento y frío,

se produzcan pérdidas de calor por conducción y convección. Por esta razón no son recomendables para sistema de calefacción, ya que no alcanzan grandes temperaturas. Por otro lado deben ser instalados en lo alto de tejado como una única unidad, lo que conlleva grandes problemas de peso en las estructuras de los edificios, y en caso de rotura todo el colector completo debe ser reemplazado. Al ser de forma plana son más propensos a la acumulación de suciedad, y sobre todo en superficies planas hay que añadir anclajes y reforzarlos para prevenir ante días de mucho viento, lo que provoca un mayor mantenimiento. Todos estos inconvenientes son en comparación con los colectores de vacío, que se explican seguidamente.

Colectores de vacío: Estos colectores están aislados por vidrios resistentes de borosilicato unidos entre sí herméticamente con una pequeña cámara de vacío entre ambos. El vacío producido en este sistema aísla al colector de condensaciones y corrosiones lo que le hace más duradero respecto al anterior, y con menos mantenimiento. Existen modelos llamados “Heat Pipe” que al contrario que los colectores planos no tienen ningún fluido circulando por el colector, lo que reduce las corrosiones interiores y posibles taponamientos por residuos del fluido. Son más ligeros que los planos y modulares, esto facilita su instalación, crea menos problemas respecto al peso de la estructura y en caso de rotura no es necesario cambiar todo el colector. Debido a la forma cilíndrica de los tubos y a la separación entre ellos, se reduce la acumulación de suciedad o nieve, aprovechan más la radiación solar puesto que tienen una mayor superficie expuesta y en caso de fuerte viento, éste puede circular libremente entre ellos porque como hemos dicho están separados una cierta distancia entre tubos. Este sistema no tiene problemas de convección ni conducción lo que los convierte en un buen sistema para calefacciones ya que este tipo si puede alcanzar grandes temperaturas respecto a los colectores planos.

En las imágenes de a continuación podemos ver cada tipo de colectores y comprender un poco mejor la explicación de cada uno.



Ilustración 20: colector tipo fresner

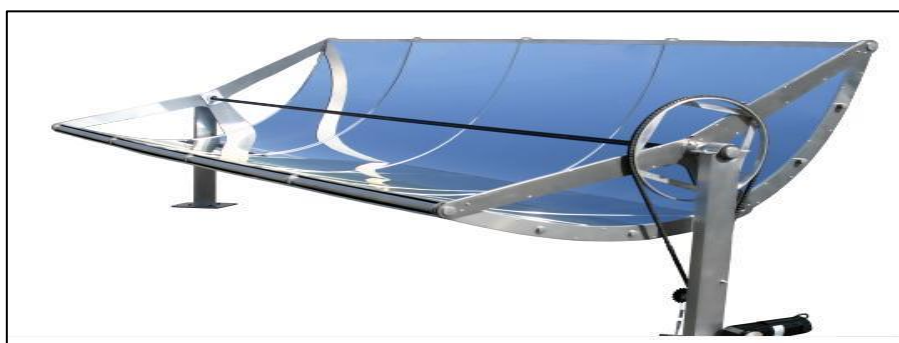


Ilustración 21: colector cilindro-parabólico

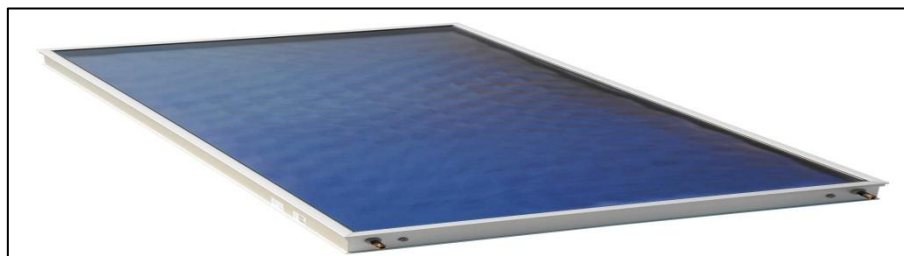


Ilustración 22: colector plano



Ilustración 23: colector de vacío

Los principales componentes de un sistema termo solar de baja temperatura son:

- **Captador o colector solar:** es el principal elemento de este sistema. Formado por elementos capaces de facilitar la conducción de un fluido, generalmente agua o anticongelante. Orientado hacia el sol de manera que obtenga la radiación máxima, es el encargado de recoger el calor recibido calentando dicho fluido.
- **Acumuladores:** son elementos encargados de acumular el calor recibido por el colector, para su uso cuando sea necesario. Cubriendo así la demanda en días de poca radiación, horario nocturno etc...
- **Intercambiadores de calor:** transfieren la energía entre fluidos sin llegar a mezclarse. En este caso entre el fluido proveniente del colector y el agua sanitaria de la vivienda.
- **Bombas de circulación:** son bombas eléctricas encargadas de transmitir al fluido del circuito la energía suficiente para el transporte a través de él, superando las pérdidas de cargas producidas.
- **Aislamiento:** es una parte fundamental en un sistema que trabaja con temperaturas y transferencias de energía. Su función es aislar el circuito para que el fluido transfiera la menor energía posible hacia el ambiente.
- **Vaso de expansión:** dado que el fluido se calentará sufrirá un aumento de su volumen, y para no sufrir presiones no deseadas en el circuito se utiliza este componente que aumentará su nivel de fluido o disminuirá en función de lo que se expanda.

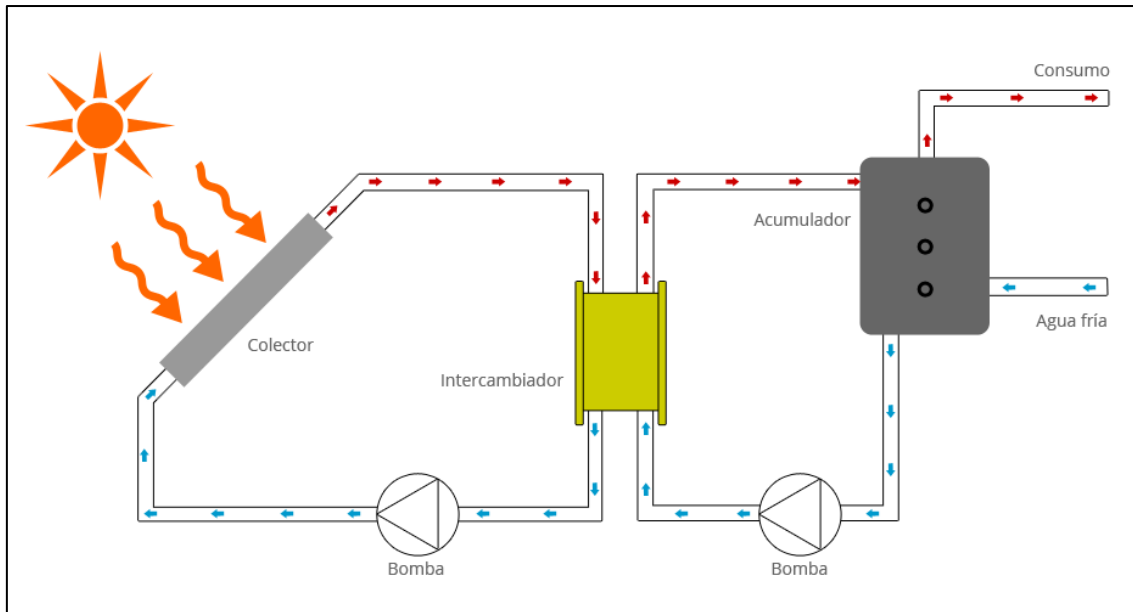


Ilustración 24: esquema simple instalación termo solar

Las aplicaciones de este tipo de sistema son variadas.

- **Sistemas de calefacción o refrigeración:** como ya se ha explicado, el acumulador recoge la energía del sol para calentar el fluido y transferir el calor al fluido sanitario. En caso de utilizarse para la calefacción de uso doméstico sirve como sistema de apoyo para calderas u otros elementos utilizados para climatización, y por otro lado este sistema no está obligado a cumplir la normativa CTE (Código Técnico de la Edificación) al contrario que los sistemas para calentar agua sanitaria, como veremos más adelante.

En el caso de su uso para refrigeración, el sistema es similar al de la calefacción. Simplemente se añade un circuito de refrigeración al de menor temperatura del sistema como se puede observar en la imagen 22, marcado con círculo rojo. Este sistema incluye tanto refrigeración como calefacción, pudiendo usarse tanto en invierno como en verano, porque como hemos comentado simplemente es añadir un circuito más con sus elementos. Este sistema también se puede utilizar para climatización de piscinas, en cuyo caso está obligado a cumplir la normativa vigente del CTE. Si la piscina está construida al aire libre no se puede instalar un sistema de apoyo para la climatización. Por el contrario en piscinas cubiertas se puede instalar.

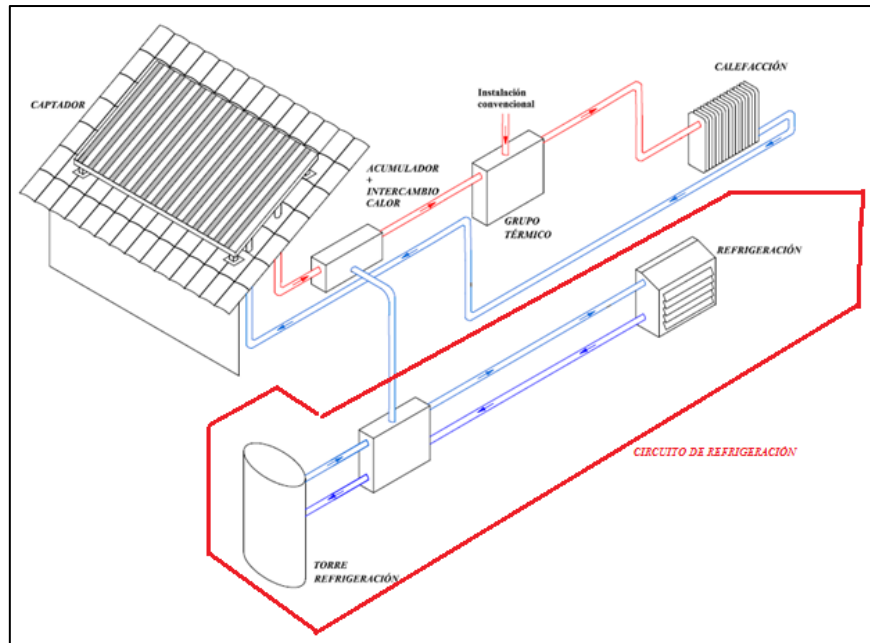


Ilustración 25: Sistema de refrigeración/calefacción termo solar

- **Sistemas para calentamiento de agua (ACS):** Prácticamente idéntico al sistema de calefacción. Las únicas diferencias, es que este tipo debe estar sujeta al cumplimiento de la normativa y que el agua se destina para calentar agua sanitaria. Por ello al ser de un uso más elevado, es interesante disponer de un grupo de apoyo para condiciones de poco sol u horarios nocturnos. Es de uso tanto doméstico como industrial, en este último caso para empresas del tipo textil, química... en las que se puede utilizar el sistema para calentar un fluido o en plantas de secado utilizando aire en vez de líquido.

- Sistema solar de media o alta temperatura:

En este caso las temperaturas de trabajo serán de 100°C y 300°C para media y superiores a 500°C para alta.

En sistemas de media temperatura, se utilizan colectores de concentración. Dichos colectores concentran, como su propio nombre indica, la radiación del sol en un único punto llamado “blanco”, aumentando la potencia del sol y la temperatura incluso hasta miles de grados Celsius. Uno de los inconvenientes es que estos sistemas deben disponer de un sistema de orientación para generar un buen rendimiento, lo que aumenta la inversión en esta instalación.

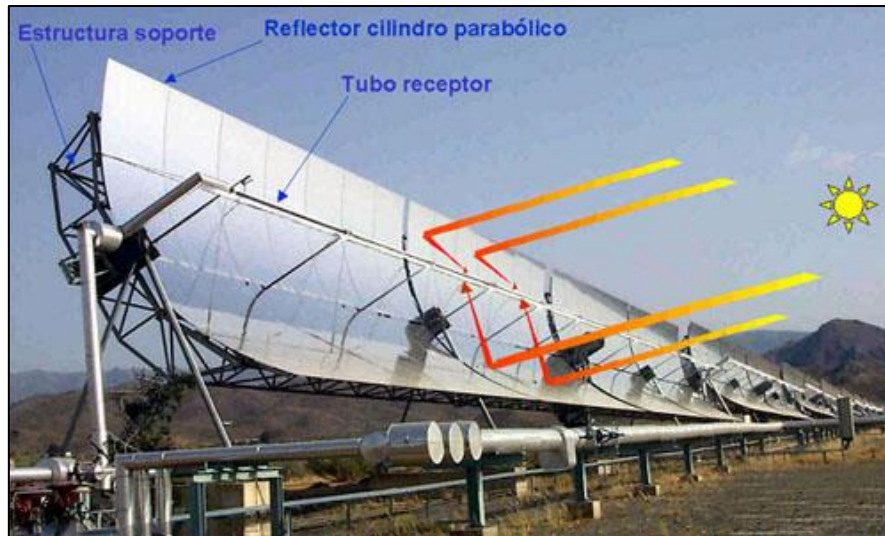


Ilustración 26: Colector de concentración (media temperatura)

Para los sistemas de alta temperatura, se utilizan unos heliostatos también con sistemas de orientación en torno al sol. Estos espejos curvos concentran la radiación solar en un punto situado en una torre, de una altura determinada con el fin de alejarla de sombras u otros obstáculos que intercedan en las radiaciones. Esta radiación incidente puede alcanzar los 2000°C y se utiliza para calentar el fluido hasta convertirlo en vapor, que al expandirse acciona una turbina encargada de generar electricidad.

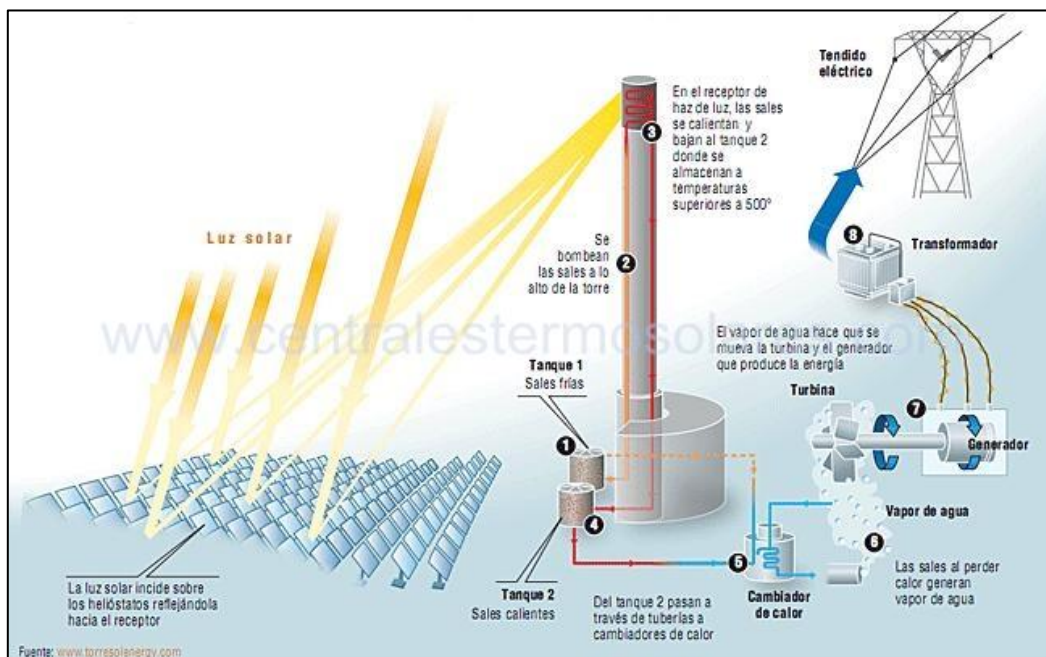


Ilustración 27: Central termo solar alta temperatura

1.3.2 Energía solar fotovoltaica:

Dado que el proyecto trata sobre el estudio de un sistema híbrido fotovoltaico, este será el sistema de captación de energía renovable en el que más nos extenderemos.

1.3.2.1 Historia:

el efecto fotovoltaico fue reconocido en el año 1839, pero hasta diez años después en 1849 no se empezó a usar el término fotovoltaico como tal. La primera célula fotovoltaica no llegar hasta el año 1883 a manos del inventor estadounidense Charles Fritts, que recubrió una muestra de selenio semiconductor con pan de oro y pese al pésimo rendimiento de dicha célula, se pudo demostrar que obtener electricidad mediante la luz era posible. Ya en el siglo XIX gracias a los estudios en los campos de electromagnetismo realizados por los grandes físicos, Maxwell, Hertz, Tesla, Faraday y Einstein, nació la base del efecto fotoeléctrico.

1.3.2.2 Funcionamiento de una célula fotoeléctrica:

Cuando la luz proveniente del sol incide sobre un material semiconductor, los fotones de dicha luz son capaces de transmitir energía a los electrones de valencia del material, rompiendo los enlaces que mantiene ligados a los átomos de éste. Por cada enlace roto queda un electrón libre y éste a su vez deja un hueco en su posición. Ambos pueden desplazarse libremente por el sólido, así quedan las cargas negativas (electrones) y los huecos que se comportan como cargas iguales a las del electrón pero con polaridad positiva. El movimiento de estas cargas en direcciones opuestas provoca la circulación de electricidad a través del circuito exterior y liberando así la energía antes cedida por los fotones al crear los pares electrón-hueco. Para que tanto los electrones como los huecos permanezcan separados y no vuelvan a establecer el enlace se utiliza un campo eléctrico, obligándolas a girar en el sentido de dicho campo. El principio de una célula fotovoltaica es que mediante la unión de dos regiones de un cristal semiconductor con distintas conductividades se cree este campo eléctrico, y conseguir que circulen las cargas negativas y positivas en sentidos opuestos como ya se ha dicho. Así se crea una diferencia de potencial en el material al igual que sucede en una pila.

El material más utilizado a día de hoy para fabricar estas células es el Silicio.

El campo eléctrico se crea en la unión de dos capas ya mencionadas, con unión tipo “pn”, una capa dopada tipo “p” (positivo) y otra tipo “n” (negativo). En dirección de la capa n a la capa p.

La capa inferior de Silicio dopada tipo p (con un material de menor valencia que el silicio tipo Boro) tiene una media de electrones libres menor que la de silicio puro. Que aunque forme una red cristalina neutra dispone de huecos en su interior.

Por otro lado la capa superior de Silicio dopada tipo n (con un material de mayor valencia que la de Silicio como el Fósforo) dispone de mayor número de electrones libres. En este caso aunque el material sea de carga neutra, la red cristalina presenta un mayor número de electrones que el Silicio puro.

De esta manera se garantiza la circulación de las cargas por el material.

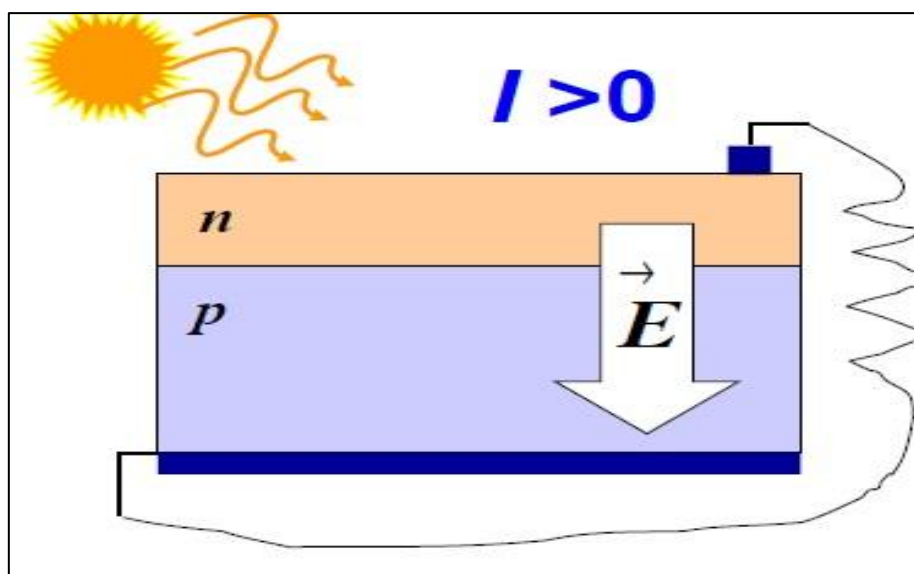


Ilustración 28: comportamiento de una célula fotovoltaica

La mayor parte de las células fabricadas hoy en día son de tipo mono o policristalino de material de Silicio. El tipo más común es el monocristalino aunque su proceso de fabricación es más laborioso, y esto es un aspecto importante ya que el proceso de fabricación conlleva un 40% del coste final de la célula.

Hay tres tipos de células fotovoltaicas según su naturaleza.

- **Silicio amorfo:** formado por silicio hidrogenado no cristalino. El silicio se deposita en forma de una delgada capa sobre un soporte transparente y no compone una estructura cristalina ordenada. Tienen un color entre marrón y gris oscuro. Este tipo de silicio permite crear células con muy poco espesor, y su fabricación es de bajo coste, pero su eficiencia es inferior al 10%. Sus aplicaciones más comunes son en relojes, calculadoras, o en edificios que requieran cierta flexibilidad en ellas.
- **Silicio monocristalino:** en este caso todos los átomos están ubicados simétricamente, tienen una orientación cristalina. Tienen un color azul oscuro con cierto brillo, con una eficiencia mayor respecto a las anteriores, entre el 15-18 %.
- **Silicio policristalino:** formado por silicio colocado sobre otro sustrato- Las direcciones de los átomos de este material van cambiando de dirección a lo largo del proceso de fabricación. Tiene distintos tonos de azul, y se forma con menos fases de cristalización que el policristalino. Con eficiencias entre el 12-14 %.

Las células policristalinas como hemos visto ofrecen un rendimiento menor que las monocristalinas. Pero tienen la ventaja de poder construirse más delgadas, y al tener menos fases en su cristalización es menos compleja su fabricación. Y en cuanto a las de silicio amorfo tienen buenas propiedades físicas y una muy buena flexibilidad que las hacen propias para la construcción de placas solares, pero tienen la gran desventaja de sufrir una disminución en su rendimiento en exposiciones prolongadas a la luz solar.

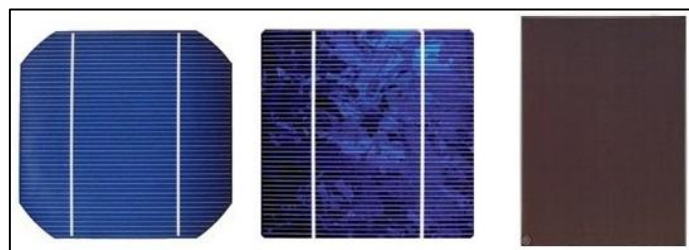


Ilustración 29: Células silicio monocristalino, policristalino y amorfo (de izquierda a derecha)

El circuito equivalente utilizado para representar estas células es el siguiente:

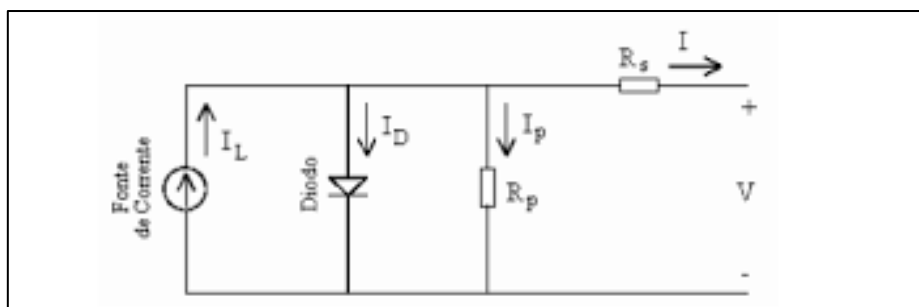


Ilustración 30: circuito equivalente célula fotovoltaica

El panel se comporta como una fuente de intensidad, y un diodo pn ideal. La resistencia R_p (paralelo) representa las pérdidas por fuga en los bordes de la célula o pequeños cortocircuitos producidos. Por otro lado la resistencia R_s (serie) se debe a la propia resistencia de la malla metálica y a los contactos metálicos con el semiconductor.

Por lo general las células fotovoltaicas tienen una potencia aproximada de $1W_p$ por cada una, lo que quiere decir es que ante una irradiación de $1000W/m^2$ estas células proporcionan una tensión de salida en vacío de $0,6V$ y una corriente de unos $2A$.

Dado que esta tensión y corriente es bastante escasa para abastecer a equipos de mediana potencia, se conectarán varias en serie dando lugar a los paneles fotovoltaicos, que estarán formados por una cantidad de entre 30 y 36 células, consiguiendo así unas tensiones alrededor de $20V_{c.c.}$ Sin embargo se habla de tensiones de panel cercanas a $12V$. Este exceso de tensión será utilizado para compensar las caídas de tensión en los paneles provocadas por el aumento de temperatura, o en los conductores y las cargas.

Un panel fotovoltaico no está formado sólo por las células conectadas entre sí, ya que va a estar expuesto a las condiciones climatológicas.

La primera capa, la más superficial, está formada por vidrio templado para proteger a las células de las condiciones descritas, golpes, o arañazos que reducirían la eficiencia del panel. Este vidrio debe tener un tratamiento anti reflejante para dejar pasar la máxima radiación posible.

Tanto en la parte superior como inferior de la matriz de células, se instala unas láminas de Etil Vinil Acetato conocido como EVA. Es un polímero termoplástico muy transparente y flexible con buenas propiedades mecánicas.

En la parte trasera del módulo se instala una capa de Tedlar, que es una resina con una alta durabilidad y muy buena resistencia al desgaste, al agua incluso al fuego. Y con un adhesivo llamado RTV se pega la caja de conectores al Tedlar.

Todas estas partes están encapsuladas en un marco de aluminio como se puede observar en la siguiente imagen.

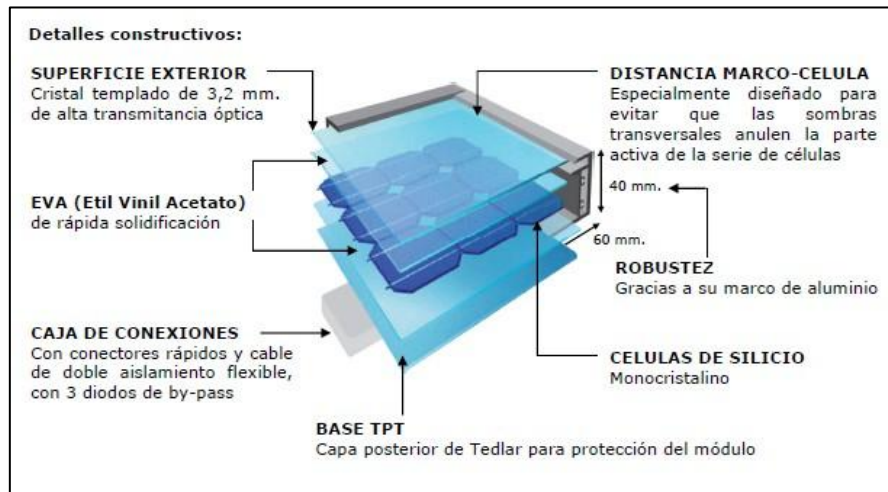


Ilustración 31: Partes de un panel solar fotovoltaico

1.3.2.3 Parámetros característicos de un panel fotovoltaico.

- **Tensión de circuito abierto (V_{ca}):** Es la máxima tensión que proporciona un panel entre sus bornes cuando no hay conectada ninguna carga. Normalmente suele ser un valor menor que rondará los 20V si hablamos de paneles para instalaciones de 12V.
- **Intensidad de cortocircuito (I_{cc}):** es la intensidad máxima medida conectando el panel sin carga y cortocircuitando sus bornes. Proporciona un valor que ronda los 3A.
- **Punto de máxima potencia:** es el punto en el cual el panel entrega la máxima potencia para una intensidad y tensión máximas. En este punto el panel da su máximo rendimiento. Se verá mejor en la imagen siguiente que describe la curva característica de un panel fotovoltaico.

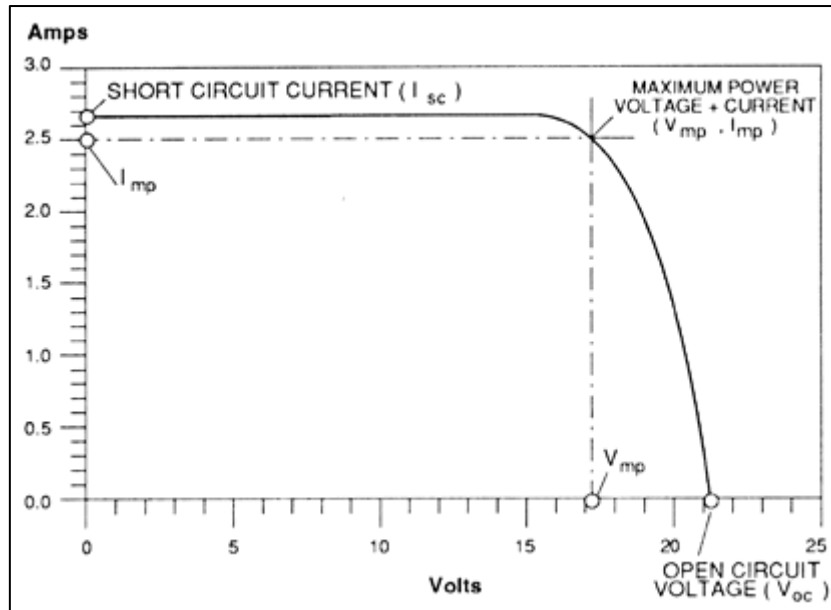


Ilustración 32: curva característica I-V de un panel fotovoltaico

Como podemos observar en la imagen, los valores de I_{mp} y V_{mp} son algo inferiores a los de I_{cc} y V_{ca} .

- **Eficiencia o rendimiento:** es la relación que existe entre la potencia máxima entregada por el panel y la potencia de la radiación solar que incide.

$$\mu = \frac{P_{m\acute{a}x}}{S \cdot G}$$

La potencia de la radiación solar incidente es el producto de S y G , donde:

- S es la superficie de la placa solar en m^2
- G es la irradiancia en kW/m^2

- **Factor de forma:** es la relación entre la máxima potencia posible entregada por el panel y el producto de la corriente de cortocircuito por la tensión de vacío.

$$FF = \frac{P_{m\acute{a}x}}{I_{cc} \cdot V_{ca}}$$



En resumen este tipo de generación, la energía fotovoltaica, es capaz de suministrar energía suficiente para cualquier aplicación. Esto quiere decir que no hay un límite de potencia digamos que no pueda ser generada por este tipo de energía.

Los inconvenientes es el precio de las instalaciones frente a la energía aportada por el sistema. Aunque en estas últimas décadas el coste de los materiales ha disminuido de manera considerable, aún no es suficiente para competir con otras energías renovables ni incluso con las centrales de combustible fósil. Se sigue desarrollando este sector y realizando investigaciones sobre todo en la concentración de rayos mediante heliostatos, pero su uso más frecuente se centra en dar autonomía a señalización vial, comunicaciones, en el sector aeroespacial, o en pequeños sistemas aislados de la red por ejemplo. Y en nuestro país a día de hoy si se quiere beneficiar un propietario de un sistema aislado está obligado a pagar un peaje, sin mencionar que han disminuido de forma considerable las subvenciones del estado para este tipo de tecnología. También ha disminuido el precio de venta de la inyección a red de la energía que pudiera sobrar de un sistema conectado a red particular.

Debido a estas causas este tipo de generación aún no es lo suficientemente competitiva frente al resto de energías, pero si se apuesta por ellas para un futuro no muy lejano. Por ejemplo el tema de este proyecto, que trata sobre usar a la vez distintos tipos de generación en una misma instalación, los llamados sistemas híbridos, que están dando económicamente muy buenos resultados como veremos más adelante.

1.4 BIOENERGÍA O ENERGÍA DE BIOMASA:

Se obtiene de aprovechar la materia orgánica que se forma de algún proceso mecánico o biológico. Normalmente de sustancias de los que se constituyen los seres vivos o de sus restos. La obtención de la energía una vez tenemos el material puede ser por combustión o transformarlo en otro tipo de sustancias que puedan usarse más tarde como combustible.

Se puede clasificar en tres tipos según su procedencia.

- **Residual:** es el residuo generado por sobrantes de paja que ya no es útil, estiércol, basuras urbanas...
- **Cultivos energéticos:** Son cultivos como pueden ser los cereales o similares, pero de uso exclusivo para la creación de biocombustibles. Cultivos herbáceos o cosechas por ejemplo.
- **Natural:** este tipo de biomasa es la que se crea de forma natural sin ningún tipo de intervención. Por ejemplo los residuos que se forman tras la poda de árboles como son ramas u hojas que no se pueden aprovechar para la fabricación de papel o muebles de madera.

Las ventajas de este tipo de energía como renovable que es, es que es una fuente inagotable de recurso y con un impacto medioambiental nulo. Pero esta energía tiene cierta incertidumbre a la hora de predecir la generación debido a la variabilidad de recurso. Se siguen investigando pero aún no se consiguen unos resultados competitivos frente a los demás tipos de energía.

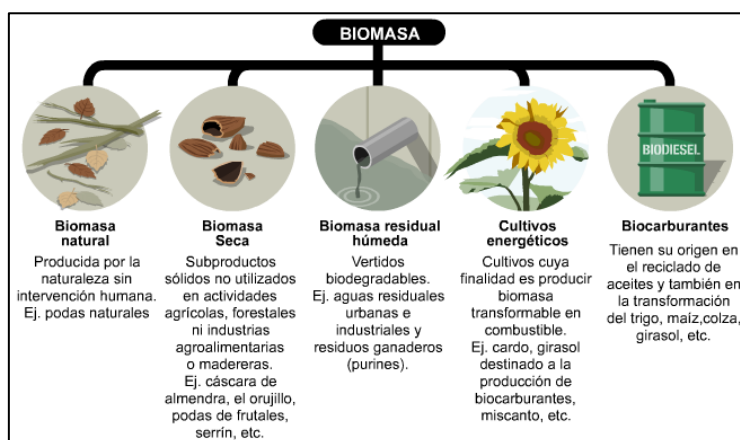


Ilustración 33: Tipos de Biomasa

1.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA:

Esta energía es la procedente del núcleo de nuestro planeta. El calor almacenado en su interior se transmite por conducción hacia la superficie. Pero debido a los bajos coeficientes de conducción de los distintos materiales de los que se compone el suelo de la Tierra, este calor se concentra en dicho núcleo.

El calor se genera por la descomposición de los isótopos radiactivos de las rocas, y por conducción como hemos dicho se crea un flujo geotérmico. No es comparable al calor que llega a nuestro planeta a través del Sol, pero la ventaja de esta energía es que el calor puede estar almacenado en el subsuelo durante miles de años antes de disiparse.

Para su extracción el terreno debe ser adecuado con altas temperaturas a no muy grandes profundidades⁵, y un tipo de terreno de tipo poroso que pueda retener agua que se usará como intercambiador de calor. Esta agua se encuentra en cámaras encerradas en roca en las profundidades. Las claves de este tipo de generación, consisten en llegar hasta estas cámaras pero manteniendo las condiciones de presión y temperatura óptimas para mantener el agua en su estado gaseoso, y así poder aprovechar dicho vapor para mover una turbina de vapor. En caso de que el agua pasara a estado líquido el sistema dejaría de ser rentable por su elevado coste de mantenimiento.

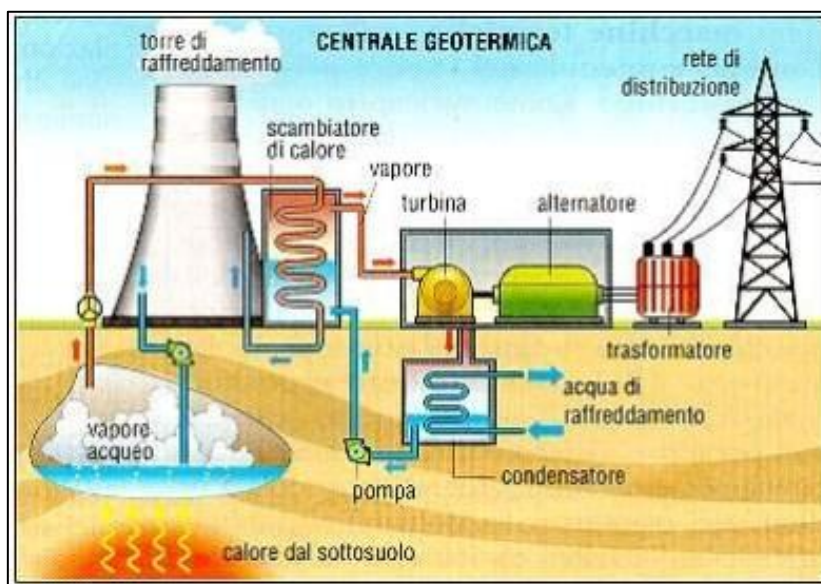


Ilustración 34: central geotérmica

⁵ Entre 1 km y 15 km de profundidad aproximadamente.

2. SISTEMAS HÍBRIDOS DE GENERACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN:

Los sistemas híbridos para de generación de energía consisten en combinar distintos tipos de métodos de obtención de dicha energía, llegando así a las configuraciones óptimas dependiendo de las condiciones de cada entorno. Por ejemplo en zonas de alta radiación solar durante todo el año, o en otros lugares en los que haya una gran cantidad de viento, se utilizarán unas combinaciones u otras para sacar el máximo partido en el aprovechamiento de los recursos inagotables de la naturaleza.

Como introducción nos centraremos primero en el impacto de este tipo de sistemas en nuestro país, que aparece como alternativa a la generación de las grandes compañías eléctricas y de cómo ha evolucionado dicho sector con las correspondientes subidas en el precio de las facturas de los españoles.

2.2 EL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL:

El sistema eléctrico español era un sistema regulado. El precio de la electricidad estaba impuesto por el Gobierno, que remuneraba los costes de la generación, transporte y distribución a un grupo de compañías eléctricas privadas encargadas de estas actividades, y a su vez garantizaba las condiciones de suministro.

En el año 1997 el Gobierno de José María Aznar promulga la ley 54/1997 del sector eléctrico que liberalizaba el mercado eléctrico en nuestro país, que aunque haya sido ligeramente modificada hasta el día de hoy, sigue manteniendo la estructura básica inicial.

El objeto de la liberalización del mercado eléctrico era que la división vertical de actividades y su reglamentación pueden crear una mayor competencia y aumentar así su eficiencia. Quedando dividido la generación, transporte, distribución y comercialización.

Dentro de estas actividades se quiere distinguir en aquellas en las que la competencia es necesaria y en las que no. De esta manera la distribución y el transporte son tareas para diferentes agentes que no compiten entre sí (no interesa que haya competencia). Todo ello controlado por la entidad reguladora encargada de planificar los ingresos y gastos que deben recibir y realizar para un correcto funcionamiento y mantenimiento de las

instalaciones eléctricas, y garantizando a su vez un suministro de calidad e ininterrumpido en medida de lo posible.

Por otro lado de la coordinación de los aspectos técnicos y económicos como son la generación y comercialización, quedan sujetos a competencia y por tanto son independientes del transporte y la distribución. Las empresas generadoras compiten en el mercado entre sí poniendo la energía generada a la venta, y aquí entran en juego las empresas comercializadoras que también competirán entre ellas por la compra de dicha energía, que posteriormente llegará hasta los consumidores.

El precio de la energía se decide con subastas trimestrales y diarias a la baja, gestionado por el Operador de Mercado Ibérico de Energía (OMIE), encargado de gestionar cobros, pagos y liquidaciones, y el sistema de compra venta. El precio final que pagará el consumidor es aproximadamente el doble del precio fijado, ya que está compuesto por peajes⁶ e impuestos. Si el precio de la electricidad en la subasta es bajo se produce un ligero descenso en peaje, por compensar los períodos de precios de subasta altos. Si por el contrario el precio fijado por las subastas se considera alto, el estado se encarga de bajar los peajes regulando la tarifa al consumidor como crea oportuno.

Como hemos visto el precio del peaje no es fijo, y si éste disminuye los costes de las instalaciones de generación, transporte, distribución y demás gastos que cubre los peajes es insuficiente, por lo que se genera una deuda con las compañías dedicadas a estas actividades, que ha día de hoy es muy grande. Como las grandes compañías están protegidas por la opacidad, han estado fijando unos costes de mantenimiento y generación que han provocado dicho déficit, que se refleja en un aumento de la factura del consumidor.

Estos aumentos para el bolsillo de los consumidores que se abastecen de la red junto con aldeas, pueblos o incluso ciudades que no tienen acceso a la red o éste es precario, han dado lugar a la investigación y desarrollo de sistemas híbridos basados en energías renovables que garanticen una continuidad de suministro (desventaja que tenían la energías renovables como única fuente de abastecimiento).

⁶ Parte del precio destinado a cubrir costes de redes de transporte y distribución, anualidades del déficit eléctrico, compensación extra peninsular y otros costes de menor entidad.

2.3 COMBINACIONES Y POSIBILIDADES EN LOS SISTEMAS HÍBRIDOS:

Los tipos de combinaciones y configuraciones de este tipo de sistemas son muy variados debido a su carácter flexible y adaptabilidad. Dependiendo de la situación geográfica o necesidades del consumidor nos encontramos con distintas posibilidades diferenciadas por su tipo de sistema de generación, si son sistemas aislados o conectados a red, o si contienen un apoyo de almacenamiento de la energía producida.

Cabe destacar que las principales fuentes de generación son de tipo renovable, y en algunos casos con apoyo de una fuente de combustible fósil. Los tipos de renovables más utilizados son la energía eólica, hidráulica o fotovoltaica como es nuestro caso. También cabe la posibilidad de crear un sistema que contenga a su vez estos tres tipos de generación.

Una vez seleccionados los tipos de generación, pasamos al sistema de almacenaje, ya sea en baterías o pilas de hidrógeno. Añadir estos componentes puede ser opcional, pero a la vez es recomendable ya que las energías renovables no están disponibles siempre que se necesiten, y en sistemas aislados de red es casi imprescindible en mi opinión.

Sabemos que la energía producida por las fuentes renovables es de corriente continua (DC), pero el consumo demandado suele ser mayormente de carácter alterno (AC), por ello se precisa de elementos de control como son los inversores y rectificadores. Aparte de reguladores de carga en el caso de poseer sistemas de almacenamiento, para una correcta carga, descarga y protección de los mismos.

Con todo ello el objetivo es el mismo que en cualquier sistema de suministro de electricidad, garantizar suministro continuo de manera eficiente, protegido y lo más rentable posibles.

Los sistemas más comunes a día de hoy son los sistemas híbridos fotovoltaicos con apoyo de un generador de combustible fósil estén o no conectados a la red de suministro. Este será el objeto de este proyecto, demostrar que la combinación de la energía fotovoltaica con un generador diesel es más rentable y eficiente que cualquiera de los dos sistemas por separado, ambos con su correspondiente sistema de almacenamiento.

Estos sistemas tienen la posibilidad y flexibilidad como hemos dicho, de poder aumentar la potencia de generación, ya sea con más paneles fotovoltaicos o añadiendo tecnología eólica o hidráulica dependiendo de las características del entorno.

Centrándonos en la configuración final que se estudiará en este proyecto vamos a explicar de manera breve en qué consiste dicho sistema.

El sistema elegido será un sistema aislado de red, característica que daremos por supuesta de aquí en adelante. Estará formado por paneles fotovoltaicos como parte principal de la generación que serán los encargados de dar el suministro directamente al perfil del consumidor. Si se produce un excedente de energía (energía producida > energía consumida) se da paso al banco de baterías, que almacenará dicho excedente para un posterior consumo cuando los paneles no generen lo suficiente para cubrir la demanda. En nuestro caso disponemos de un sistema de generación diesel que entrará en funcionamiento únicamente para la carga de baterías. Cuando éstas alcancen una profundidad de descarga que consideremos puede poner en peligro su vida útil, y los paneles fotovoltaicos estén abasteciendo el consumo sin excedente para cargar las baterías, entrara en funcionamiento el generador de combustible fósil.

Como se ha mencionado necesitamos de un sistema de control que convierta la electricidad de DC-AC y viceversa. Los paneles y las baterías trabajan en corriente continua, el generador diesel lo hace en corriente alterna al igual que el consumo que suele ser casi en su totalidad de este tipo. Por ello entran en juego los inversores, encargados de convertir la corriente de los paneles en alterna y la del generador en corriente continua para la carga de las baterías.

Según el inversor y el sistema de gestión de carga de baterías, podemos distinguir tres configuraciones generales en los sistemas híbridos en este caso aislados.

2.3.1 Sistema híbrido con inversor bidireccional (configuración en AC):

En este tipo de configuración se necesita de dos inversores, uno de red que transforma la corriente continua producida por los paneles en alterna para el consumo de cargas no gestionables, y el inversor bidireccional que actúa tanto de inversor (DC-AC) para abastecer el consumo de cargas gestionables desde las baterías, como de convertidor (CA-DC) para cargar éstas a través del generador diesel o del excedente de generación que se puedan producir en los paneles. Una de las características del inversor bidireccional es la de evitar un retorno de energía hacia el generador diesel, cuando el inversor permite la descarga de las baterías para el consumo.

Con esta configuración se reducen elementos entre generación y consumo con un único inversor de red a diferencia de la configuración en corriente continua como veremos más adelante, y a su vez se reducen también las pérdidas.

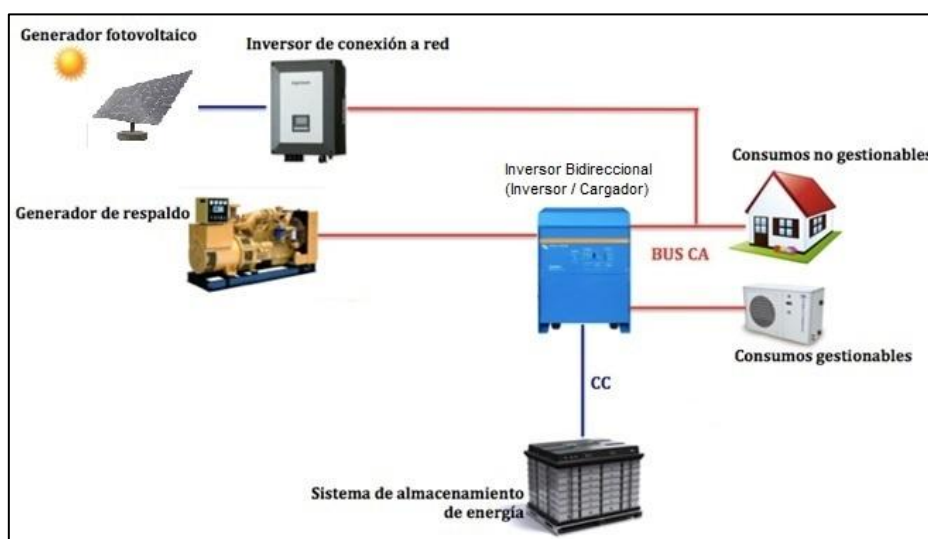


Ilustración 35: sistema híbrido con inversor bidireccional (configuración AC)

2.3.2 Sistema híbrido con regulador de carga (configuración en DC):

Esta configuración fue de las primeras en utilizarse. En este caso los paneles no están conectados directamente a un inversor de red como en la configuración anterior, en su lugar se instala un regulador de carga que gestiona la carga y descarga de las baterías. Desde éstas se abastece el consumo a través de un inversor sinusoidal aislado.

La función del regulador no sólo es la de la gestión de carga y descarga de baterías, sino que también funciona como protección frente a sobrecargas desconectando el bus de continua, o sobre descargas desconectando el bus de alterna que puedan disminuir el tiempo de vida útil de las mismas. De manera opcional existen sistemas de alarma y control que avisan de este tipo de riesgos. También tiene la función de regular la tensión en función de la temperatura, controlar el seguimiento de máxima potencia de los paneles y monitorizar datos de funcionamiento.

Según los datos obtenidos por el regulador en cuanto a la tensión en bornes de la batería existen diferentes tipos de control como son el sistema de control en paralelo y en serie. En conexión en paralelo entre los paneles y el banco de baterías se instala un transistor que permite que el regulador limite la corriente que llega a las baterías cuando se supera un valor dado de tensión en bornes. En cuanto a la configuración en serie, se instala un interruptor entre el generador y el banco que realizará su apertura frente a sobrecargas, y otro interruptor entre el banco y las cargas protegiéndolo frente a sobre descargas.

Una vez explicado el funcionamiento de los reguladores, cabe destacar que para cada tipo de instalación deben ser configurados de manera diferente, basándose en el tipo de paneles, potencia máxima instalada y el tipo de baterías.



Ilustración 36: sistema híbrido con regulador de carga (configuración DC)

2.3.3 Sistemas híbridos mixtos (configuración AC y DC):

Como su propio nombre indica esta configuración es una mezcla de las dos descritas anteriormente.

En este caso parte de la energía que proviene de los paneles (configuración en continua) se utiliza para cargar el banco de baterías mediante un inversor con MPPT (control de máxima potencia) mejorando la carga de manera más eficiente. El resto se conecta al inversor de conexión a red a su vez conectado directamente con la carga reduciendo así las pérdidas al no haber elementos intermedios. En paralelo se conectará el generador diesel de respaldo, por si la energía de los paneles o baterías es insuficiente, poder cargar las baterías o directamente abastecer a las cargas gracias al inversor bidireccional.

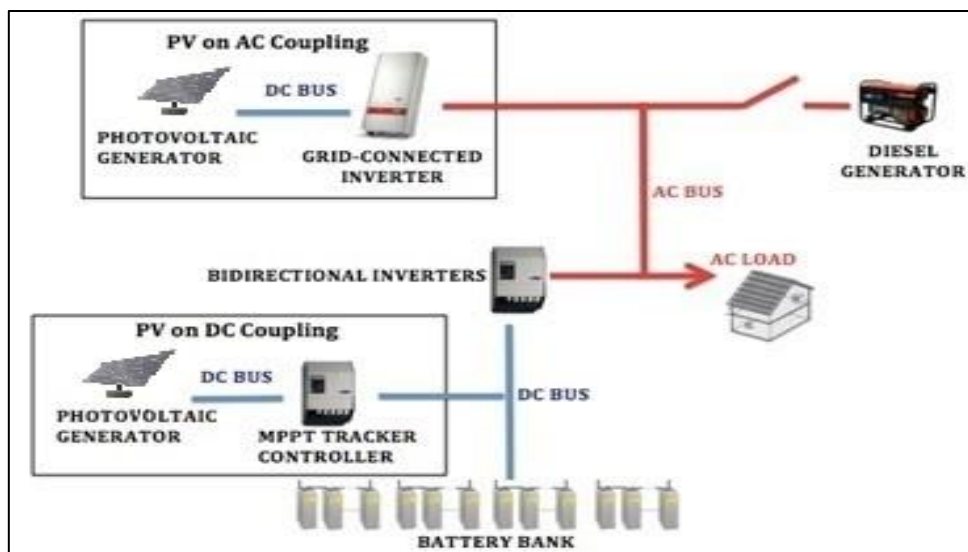


Ilustración 37: Sistema híbrido mixto (configuración AC y DC)

2.3.4 Sistemas híbridos con inversor híbrido:

En este sistema el inversor es híbrido lo que le permite estar conectado a todos los elementos de la instalación. Por tanto funciona como inversor bidireccional y como regulador de carga, cumpliendo las funciones anteriormente descritas en la configuración mixta. Como inversor bidireccional actuará para la carga de baterías desde el generador diésel de apoyo y para el consumo directo desde los paneles. Y como regulador para gestionar y proteger el sistema de carga y descarga de las baterías.

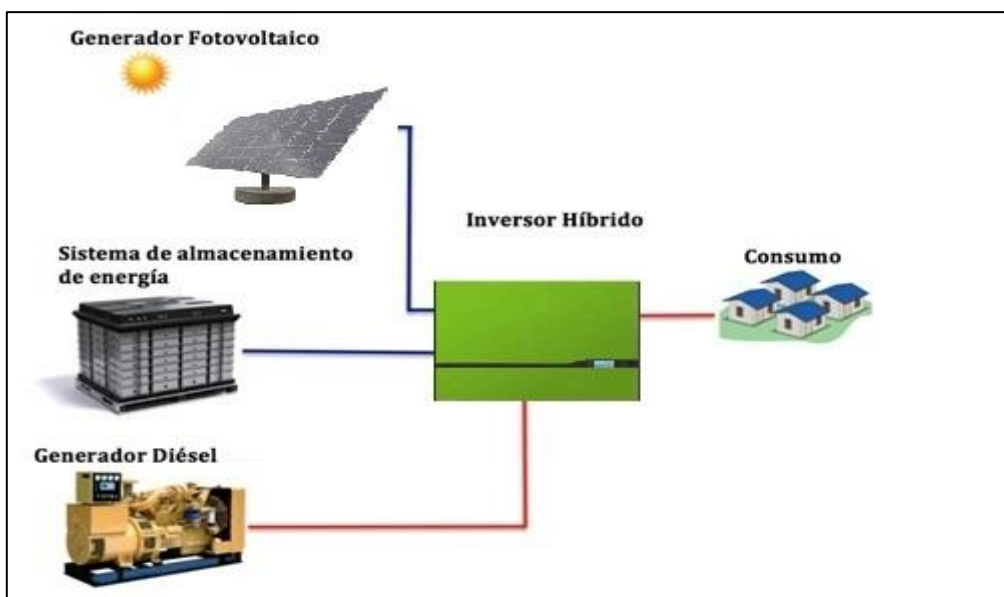


Ilustración 38: Sistema híbrido con inversor híbrido

2.4 ELEMENTOS DEL SISTEMA HÍBRIDO EN ESTUDIO:

El sistema híbrido elegido para este proyecto es un sistema aislado de la red y está formado por placas solares fotovoltaicas como sistema de generación principal, un banco de baterías para el almacenamiento y abastecimiento secundario, un inversor para conversiones AC-DC y viceversa, regulador de baterías encargado de gestionar la carga y descarga y un generador diesel como fuente de respaldo.

Como la tecnología fotovoltaica ya explico detalladamente en capítulos anteriores hablaremos de los demás componentes de la instalación.

2.4.1 Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica:

Básicamente las baterías en este tipo de sistemas aislados actúan como sistema de almacenamiento de la energía proporcionada por los paneles, para poder abastecer a las cargas en las situaciones donde los paneles no entregan la suficiente potencia, como puede ser por la noche, o en días nublados por ejemplo.

Hay distintos tipos de sistemas de acumulación en el mercado según sea su aplicación, mecánicos, térmicos, eléctricos, químicos o electroquímicos. Por ejemplo para descargas de larga duración se suelen utilizar componentes como hidrógeno o gas natural sintético. Por otro lado los de tipo electroquímico o volante de inercia se utilizan para cortos períodos de descarga.

- **Sistemas de almacenamiento mecánico:** Obtienen el almacenamiento haciendo uso de las energías tanto cinética como potencial y se clasifican en tres tipos, volante de inercia, bombeo y aire comprimido. Pero el más usado es el de tipo volante de inercia utilizado sobre todo para la regulación frecuencia-potencia en sistemas eléctricos.

- **Sistemas electroquímicos:** Estos sistemas son las conocidas baterías, electrolizadores y pilas de combustible. Su funcionamiento es de carácter químico mediante reacciones de oxidación-reducción. La reducción de un elemento y la oxidación de otro permiten que ese produzca la captación de electrones a través del reductor.

En pilas de combustible consisten en reducir el oxígeno y oxidar el hidrógeno del agua, y en los electrolizadores ocurre justamente lo contrario.

De estos tres tipos el más usado debido a su eficiencia y su calidad precio se suelen usar las baterías como sistema de almacenamiento.

Explicaremos algunos de los tipos de baterías más utilizadas.

- **Baterías de sodio-Azufre:** en este tipo ambos materiales se reducen durante la descarga, el electrolito conduce los iones positivos del sodio hacia el cátodo haciendo así reaccionar al azufre. De aquí aunque aún no son muy utilizadas, se derivó a baterías de sodio-cloro-níquel. El electrolito de este tipo compuesto por β -alúmina conduce iones positivos como el caso anterior de ánodo a cátodo. Pero a diferencia de las de sodio y azufre el ánodo está formado por sodio y cloruro de sodio y el cátodo por níquel y cloruro de níquel.

- **Baterías de vanadio:** Este tipo de baterías son capaces de suministrar largos periodos de carga ya que se almacenan los electrolitos en tanques, y esto permite reducir considerablemente las pérdidas por auto descarga. Debido a su buena respuesta ante los procesos de carga y descarga son baterías a tener en cuenta en el futuro.

- **Baterías Plomo-ácido:** Debido a que son las más recomendables y usadas en este tipo de sistemas como son los sistemas híbridos no extenderemos algo más en explicar su funcionamiento.

Formadas por un electrolito de disolución de ácido sulfúrico y agua destilada, que envuelven un conjunto de delgadas placas de plomo de distinta polaridad colocadas en paralelo y alternativamente. Se coloca una placa negativa adicional, de manera que siempre quede una placa negativa en el exterior evitando así la combadura de las placas positivas. Su funcionamiento se basa en un proceso electroquímico reversible, que sea reversible nos proporciona la carga en una dirección de la reacción y la descarga en la otra. En la descarga ocurren dos procesos, el óxido de plomo (IV) se reduce a sulfato de plomo (II) y el plomo se oxida dando lugar a sulfato de plomo (II). Durante la carga se necesita de un generador que aporte corriente continua en sus bornes para que se produzca la reacción. El sulfato de plomo (II) se reduce a plomo metal en las placas negativas y en las placas positivas se forma óxido de plomo (IV). Los electrones intercambiados son los que se aprovechan para aportar la corriente eléctrica. Estos procesos se aprecian en la siguiente fórmula.



Ilustración 39: proceso de carga y descarga de una batería plomo-ácido

Al tiempo que varía el estado de carga de las baterías el electrolito varia la proporción de ácido de la solución, por tanto a mayor carga mayor cantidad de ácido se crea en el activador. Las características principales de una batería son:

- La *profundidad de descarga* que indica qué porcentaje de descarga recomienda el fabricante sin dañar la vida útil de la batería
- La *cantidad de energía almacenable* (expresada en Wh)
- La *descarga máxima de corriente*.

La capacidad para mantener un determinado régimen de descarga se mide en Ah.

La temperatura en las baterías es un factor importante, ya que si aumenta su temperatura la reacción química se acelera y el voltaje en los bornes de ésta también aumenta. Y si disminuye la temperatura se retrasa la reacción y el voltaje disminuye. Por ello la tensión en bornes de la batería depende de la temperatura del electrolito y del nivel de carga, y una elevada temperatura puede llegar a reducir la vida de la batería.

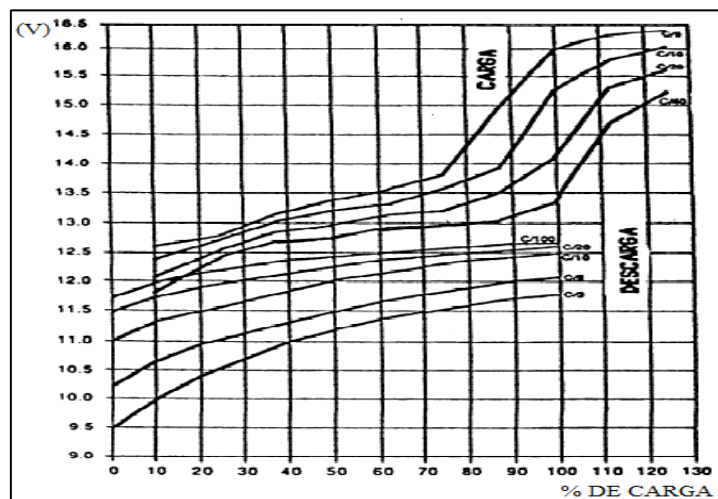


Ilustración 40: curva de carga y descarga de una batería de plomo ácido

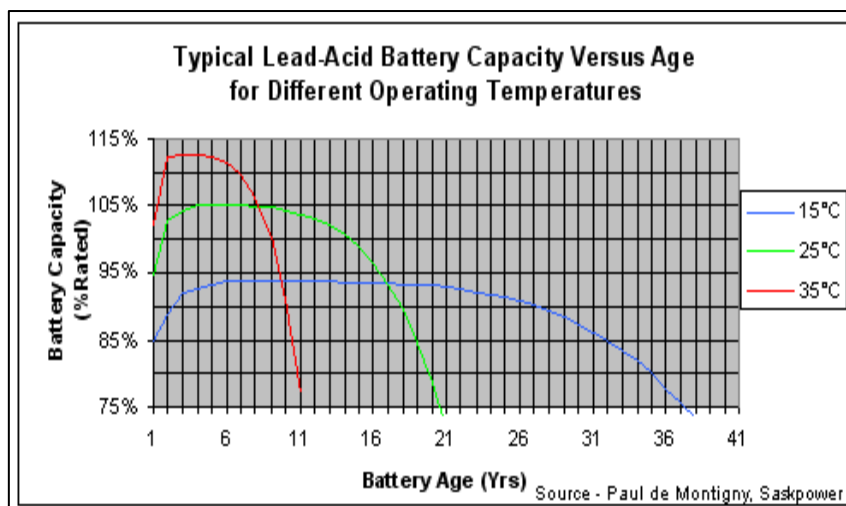


Ilustración 41: vida de una batería de plomo ácido según temperatura

Como ya hemos dicho este tipo de baterías son las más utilizadas en sistemas híbridos, también lo son en automóviles por ejemplo debido a que se obtiene grandes rendimientos de ellas a un bajo coste. Pero también tienen algún inconveniente, si no se controla la carga y ésta llega a cargarse por encima del total se reducen los iones de hidrógeno y oxígeno y las moléculas de agua del electrolito produciéndose lo que se llama gasificación y el peligro de explosión. También se puede producir la muerte de la batería si un exceso de oxígeno oxida el plomo de las celdas. Son baterías muy sensibles a sobrecarga y sobre descarga, incluso si no se usan durante un tiempo prologado de tiempo (sin carga ni descarga) van perdiendo cada vez más capacidad.

Las baterías normalmente están formadas por elementos de 2V. Dependiendo la tensión de trabajo que se necesite se conectan en serie tantas como se necesite, por lo general se trabaja con 12V, 24V o 48V. En cuanto a la capacidad la conexión en serie no afecta, pero sí en paralelo, aumentando la capacidad cuantas más conectemos de este modo. La finalidad será conectar el número necesario de baterías en serie para llegar a la tensión de trabajo, y tantas como se necesiten en paralelo para obtener una cantidad suficiente que garantice la autonomía de la instalación.

- **Baterías de Litio-Grafito:** en este tipo en el proceso de carga el elemento que se oxida es el litio liberando iones positivos y electrones, y por medio del electrolito llega al grafito que es el elemento que se reduce. Tienen un buen rendimiento alrededor del 92%.

- **Sistemas de almacenamiento químico:** su uso principal es para sistemas que demanden un almacenamiento de la energía en largos períodos de tiempo.

El funcionamiento de las pilas de combustible se basa en la hidrólisis del agua, separando el oxígeno del hidrógeno que tiene un alto poder calorífico y es el elemento que se utilizará para la obtención de energía. Cuando la demanda es baja se aprovecha para obtener el hidrógeno mediante la hidrólisis, y en casos de demanda alta es el momento en el que se extrae la energía calorífica del hidrógeno para convertirla en energía eléctrica mediante turbinas de combustión.

También existen otros modos de almacenamiento químico, similar a la pila de combustible, pero en este caso el recurso se obtiene de la descomposición de material orgánico. La combustión de los gases obtenidos en la descomposición (oxígeno, metano, hidrógeno y dióxido de carbono) son los que producen la energía eléctrica.

2.4.2 Inversores:

a se ha mencionado en numerosas veces a lo largo del proyecto que la función de este elemento es la de convertir la corriente continua en corriente alterna, pueden ser trifásicos o monofásicos, e incluso bidireccionales haciendo de convertidor (AC-DC). Pero no sólo hacen la conversión de la corriente sino que también controlan el valor eficaz de la tensión de salida al igual que su modulación, porque como ya sabemos la existencia de armónicos disminuye el rendimiento tanto de la carga como del propio inversor, y aparte de esto también monitorizan la información y poseen herramientas de control. La transformación DC-AC en el inversor se realiza haciendo pasar la corriente en un sentido y a la inversa en ciclos de 100 veces por segundo para conseguir la frecuencia deseada en este caso 50Hz. La mayoría de inversores funcionan de este modo.

Existen diferentes tipos según la forma de onda de la señal.

Los ***Inversores sinusoidales*** como su nombre indica la señal de salida es prácticamente sinusoidal por lo que no presenta a penas distorsión armónica, debido a esto es capaz de admitir cualquier tipo de carga (resistiva, inductiva o reactiva) y también debido a la estabilidad de tensión que ofrecen. Lo que los convierte en los más usados en cargas delicadas o que precisen de un determinado control de la señal.

La regulación del valor eficaz de la tensión de salida se suele llevar a cabo mediante la modulación del ancho de pulso conocida como PWM, que modula la señal variando los pulsos de la onda de entrada.

Los ***inversores semi-senoidales*** no ofrecen una señal tan limpia como el inversor sinusoidal de onda completa, pero tampoco tienen una distorsión armónica demasiado alta, por lo que no son aptos para todo tipo de cargas ni cargas delicadas pero sí admiten cargas que no tengan un alto contenido inductivo.

Los ***inversores de onda cuadrada*** son de baja modulación lo que conlleva un gran contenido de armónicos en la señal de salida. Por lo que no se recomienda para cargas que no sean puramente resistivas.

A continuación hablaremos de los inversores fotovoltaicos en caso de sistemas conectados a red y en sistemas aislados.

- Inversores fotovoltaicos con conexión a red:

Mediante este tipo de inversor se permite la conexión directa entre los paneles fotovoltaicos y la red AC, y así reducir el número de elementos intermedios y a su vez las pérdidas. En este caso el inversor debe tener la característica de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles (cuando los paneles funcionan en su punto óptimo de rendimiento) que es también el punto donde el inversor consigue su máximo rendimiento ya que éste es la relación entre la potencia real medida y la potencia ideal.

Para encontrar ese punto de máxima potencia los inversores utilizan un método de perturbación y medida que consta de ir modificando los valores de la tensión y ver la variación de potencia entre la tensión anterior y la medida. Si el incremento de la potencia es positivo continua variando los niveles de tensión del mismo modo hasta encontrar un incremento negativo de la potencia, lo que da lugar al punto máximo de ésta. Este seguimiento se puede ver afectado en días en los que haya

cambios bruscos de irradiación y a su vez de la potencia de los paneles. En estos casos digamos que hace variaciones y mediciones por intervalos, de manera que si el incremento de la potencia es positivo y aparece algún valor atípico por el paso de unas nubes por ejemplo, que no vuelva atrás en sus mediciones.

Para este tipo de sistemas de conexión a red hay que cumplir una serie de normativas en cuanto a distorsión armónica en las señales de corriente y tensión, los rangos de trabajo de tensión y frecuencia, y el aislamiento entre el parque de generación y la red con transformadores de alta o baja frecuencia.

- Inversor fotovoltaico en sistemas aislados de red:

Compuesto por un convertidor, un inversor y un filtro PWM para modulación de la señal de salida y filtrar los armónicos, y está situado entre el banco de baterías y la carga. El convertidor DC-DC es el encargado de elevar la tensión de la señal de entrada para adecuarlo a los valores necesarios que demanda la carga en AC.

Posteriormente el inversor convertirá la señal DC amplificada en AC, dando paso al filtro PWM sinusoidal de onda completa. El inversor completo se encargará del control de la tensión de la salida para dar el valor fijo necesario, según aumente o disminuya la tensión en las baterías. Si la tensión de éstas aumenta el inversor disminuirá el valor de tensión y viceversa. El regulador de carga de las baterías que protege las baterías ante sobrecargas y sobre descargas en ocasiones está incluido también en el inversor.

Sabemos por lo descrito anteriormente que la señal de salida de un inversor puede ser de tipo cuadrada, semi-senoidal o sinusoidal pura. Como toda nueva tecnología, en sus inicios los de tipo sinusoidal pura eran muy costosos y aún no ofrecían unas características fiables. Pero con el avance y estudio de estos sistemas se ha conseguido que sean los más utilizados, porque aceptan cualquier tipo de carga ya que su señal es bastante limpia en cuanto a distorsión armónica.

2.4.3 Generadores de apoyo de combustible fósil:

Estos elementos son muy comunes en todo tipo de maquinaria y en la vida cotidiana. El funcionamiento es igual que el motor de un vehículo de explosión o combustión. En los vehículos se necesita electricidad y combustible para que el motor convierta la energía de la combustión o explosión en energía mecánica. En este caso el proceso digamos que es el contrario, pasando de tener un motor a un generador. Se utiliza el combustible fósil para generar electricidad en lugar de energía mecánica. No entraremos en el funcionamiento de los motores y generadores en detalle ya que es un sistema con muchos años de investigación y su información es verdaderamente amplia.

El generador consume el combustible fósil, generalmente en estos sistemas híbridos será diesel o gasolina, para mover un alternador que producirá la energía eléctrica alterna que necesitaremos para dar apoyo al sistema.

Tienen múltiples utilidades en cualquier ámbito, como por ejemplo en instalaciones donde la interrupción del suministro de la red eléctrica puede ser fatal (hospitales, grandes industrias etc.) la normativa vigente les obliga a tener instalado un grupo de generadores de apoyo de combustible fósil capaces de dar suministro a toda la instalación hasta que se recupere la conexión a red.

En los casos de sistemas híbridos el uso es similar, sirven de apoyo pero en otras circunstancias. En un sistema de placas fotovoltaicas, con un banco de baterías y un generador de apoyo como es el caso de estudio. Los paneles fotovoltaicos abastecen el consumo demandado y cuando haya excedente de energía cargarán las baterías. Cuando las baterías hayan llegado a su profundidad de descarga impuesta por el fabricante, si el generador fotovoltaico no es capaz de cubrir la demanda y a su vez cargar las baterías entra en juego el generador de apoyo para dicha carga.

A la hora de la elección del generador deberemos tener en cuenta la potencia que es capaz de entregar en KVA, su precio, y la inflación del combustible anual.

3. CALCULO DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE IHOGA

Este proyecto se llevará a cabo con el programa de dimensionado de sistemas híbridos Hioga, diseñado por el Dr. Rodolfo Dufo López. Por lo que he podido observar en el estudio de mi proyecto es una buena y potente herramienta con multitud de opciones para diseñar nuestro sistema, ya sea híbrido o de un solo tipo de generación, incluyendo la generación con combustible fósil únicamente. Incluye baterías, inversores, pilas de hidrógeno y una amplia base de datos de varios modelos de cada elemento.

Una vez dada esta pequeña introducción de la herramienta comentaremos los elementos elegidos para nuestro sistema, que en este caso será un sistema híbrido fotovoltaico compuesto por PANELES+BATERIAS+GENERADOR DE APOYO, con su correspondiente inversor y regulador de carga.

3.1 DATOS DE IRRADIACIÓN:

Lo primero que debemos hacer es elegir el emplazamiento donde va a tener lugar la instalación, en mi caso será mi vivienda situada en Seseña Nuevo (Toledo).

- Latitud(°) (+N,-S) = 40,1
- Longitud(°)(+E,-O) = -3,65

Una vez introducimos estos datos en el programa, nos ofrece la posibilidad de obtener los datos de la web NASA de irradiación en el lugar elegido. Tomamos los datos de la irradiación media solar horizontal para cada mes en kWh/m²/día, y los introducimos en el programa, el programa calcula los datos de irradiación diaria de cada mes. Como en nuestro caso los paneles no van a disponer de seguimiento de la trayectoria del sol, será el propio programa el encargado de darnos el ángulo de inclinación óptimo para nuestra localización. Lo elegirá variando ángulos y calculando la irradiación, eligiendo el ángulo que ofrece máxima irradiación en el peor mes de sol (Diciembre). En este caso el ángulo será de 62° con una irradiación de 2,92 kWh/m²/día. Se puede elegir también zonas de sombreado en los paneles, pero en mi caso, en el tejado no hay ninguna sombra a lo largo del día.

El método recomendado en el manual para el cálculo estadístico del programa es Collares Pereira y Ralb.

Cálculo ángulo opt. inclinación

Latitud (°) (+N, -S): 40.1 Inclinación paneles (°): 62 Azimut paneles (° respecto al sur): 0 Reflectividad suelo: 0.2
 Longitud (°) (+E, -O): -3.65 **Inclinación óptima** Datos meteorológicos web NASA

Si no se abre el navegador web, copie y pegue la siguiente dirección en el navegador:
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/etscreen.cgi?email=rdulo%40unizar.es&step=1&lat=40.10&lon=-3.65&submit=Submit>

Cerrar

med. horiz. med. sup. inc. Seguimiento solar: Sin seguimiento ☒ Collares-Pereira y Rabl ☐ Graham

Mes	med. horiz.	med. sup. inc.
Enero	2.03	3.49 kWh/m ²
Febrero	2.96	4.5 kWh/m ²
Marzo	4.29	5.5 kWh/m ²
Abril	5.11	4.65 kWh/m ²
Mayo	5.95	4.47 kWh/m ²
Junio	7.09	4.72 kWh/m ²
Julio	7.2	5.0 kWh/m ²
Agosto	6.34	5.35 kWh/m ²
Septiembre	4.87	5.37 kWh/m ²
Octubre	3.13	4.22 kWh/m ²
Noviembre	2.13	3.37 kWh/m ²
Diciembre	1.7	2.91 kWh/m ²

IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL SUPERF. HORIZONTAL

Horario de verano:
 Hora oficial adelanta: 2 h la hora solar
 Desde el día: 30 del mes: 3
 Hasta el día: 26 del mes: 10
 Horario de invierno:
 Hora oficial adelanta: 1 h la hora solar

Forzar: 0 días seguidos nublados (solo irradiación difusa) en el mes de: Enero

SOMBREADO Irradiación media diaria sup. horizontal: 4.4 kWh/m² Irradiación media diaria sup. inclinada: 4.43 kWh/m²
 Irradiación total anual sup. horizontal: 1608.42 kWh/m² Irradiación total anual sup. inclinada: 1619.77 kWh/m²

Factor de escala: 1 ACEPTAR Calcular Gráfica Exportar Ginc. Exportar Ghoriz.

Datos ofrecidos por web nasa

Ilustración 42: pestaña irradiación (Ihoga)

Irradiación diaria media para cada mes del año y para el año entero. Inclinaciones 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° y óptima.

El azimut seleccionado (0°) es el óptimo para latitudes norte

	Rad. 0° (kWh/día)	Rad. 15° (kWh/día)	Rad. 30° (kWh/día)	Rad. 45° (kWh/día)	Rad. 60° (kWh/día)	Rad. 75° (kWh/día)	Rad. 90° (kWh/día)	Inc. Opt. (°)	Rad. Inc. Opt. (kWh/día)
Enero	2.04	2.64	3.1	3.39	3.5	3.41	3.13	61	3.5
Febrero	3	3.7	4.21	4.49	4.52	4.31	3.85	54	4.54
Marzo	4.31	4.96	5.33	5.42	5.2	4.71	3.96	42	5.42
Abril	5.12	5.44	5.48	5.25	4.74	4.01	3.11	25	5.5
Mayo	5.99	6.05	5.84	5.34	4.58	3.67	2.63	11	6.07
Junio	7.11	7.03	6.61	5.89	4.87	3.71	2.46	5	7.13
Julio	7.25	7.24	6.89	6.19	5.16	3.96	2.64	7	7.3
Agosto	6.35	6.66	6.63	6.23	5.48	4.47	3.26	21	6.69
Septiembre	4.91	5.51	5.81	5.79	5.44	4.79	3.89	36	5.84
Octubre	3.15	3.73	4.13	4.3	4.25	3.96	3.47	49	4.31
Noviembre	2.14	2.68	3.08	3.32	3.38	3.26	2.97	58	3.39
Diciembre	1.7	2.19	2.57	2.82	2.92	2.85	2.64	62	2.92
AÑO COMPLETO	4.43	4.83	4.98	4.87	4.5	3.92	3.16	31	4.98

El mes de menor irradiación sobre superficie horizontal es DICIEMBRE
 La inclinación óptima para maximizar la irradiación en DICIEMBRE (paneles fotovoltaicos fijos) es 62°
La inclinación óptima teniendo en cuenta la relación consumo/irradiación sobre superficie inclinada (paneles fotovoltaicos fijos) es 60°
 El mes de peor relación consumo/irradiación para esa inclinación óptima de 60° es DICIEMBRE con consumo equiv. DC de 10,9 kWh y radiación sobre superf. incl. 60° de 2,92 kWh/m²/día

Atrás

Ángulo inclinación opt.

Ilustración 43: ventana de cálculo de inclinación óptima

3.2 CONSUMO DEL PERFIL ELEGIDO:

Lo primero a mencionar es que la versión gratuita del programa a utilizar está limitada a un perfil de consumo máximo de 10KWh/día. Mi primer problema fue que después de estimar aproximadamente el consumo de mi vivienda e introducir los datos uno a uno, superaba lo permitido por la versión gratuita, alrededor de 13kWh/día. Por tanto por no inventar un perfil que fuera irreal y se ajustara a una vivienda común, elegí un perfil impuesto por el programa, de un consumo bastante menor, pero que la curva diaria fuera el consumo de una vivienda convencional. He introduje el factor de 1,2 para los fines de semana que es cuando mayor consumo hay a lo largo de la semana, mayor uso de la calefacción, iluminación y electrodomésticos. Con todo esto conseguí un perfil de 7,42 kWh/día con la correspondiente gráfica por ejemplo en enero.

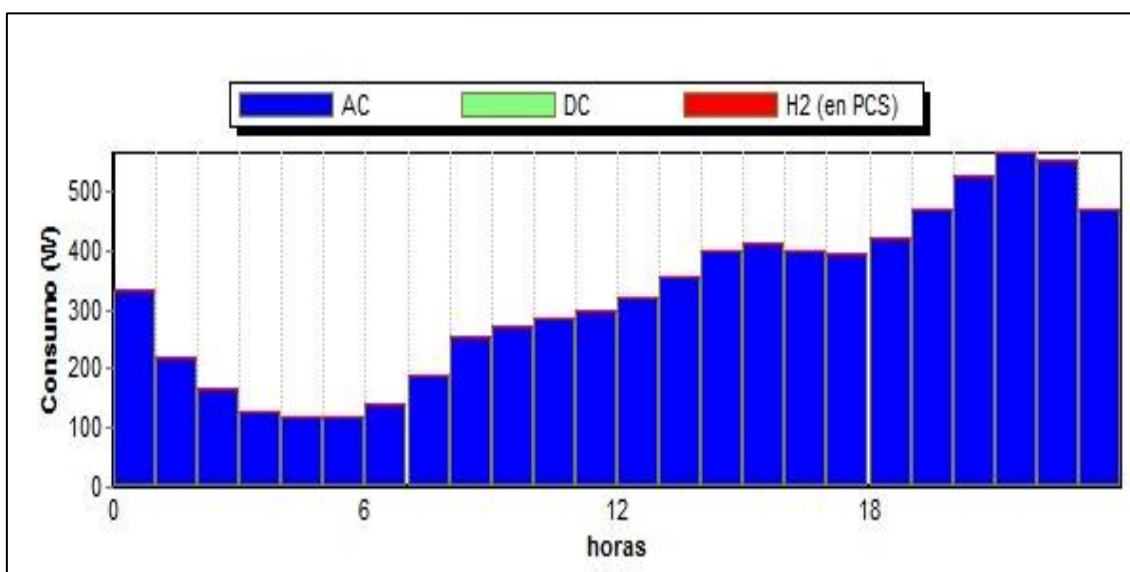


Ilustración 44: consumo medio en Enero

Como podemos observar el consumo es puramente de energía alterna, y lógicamente no hay pila de hidrógeno por tanto el consumo es cero. Se puede apreciar digamos que las mayores horas de consumo es más o menos cuando se llega a casa después de la jornada laboral, y el menor consumo se produce en las horas de madrugada.

3.3 SISTEMA DE CÁLCULO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS:

El programa se encarga del dimensionado del sistema según los componentes elegidos. Vamos a explicar de qué manera selecciona el número de paneles necesarios.

Las características de los paneles a la hora de su selección son la tensión nominal, y las intensidades en los ensayos de cortocircuito y de vacío. Cada panel está formado por un conjunto de células fotovoltaicas de tensión 0,6V cada una. Si queremos una tensión nominal de unos 12V, lo normal es conectar un total de 36 células que dan lugar a una tensión de 21,6 V. Esta tensión como podemos observar es mayor que los 12V requeridos, pero contamos con que el panel no ofrece toda su potencia por causas de irradiación, temperatura y pérdidas en el sistema, de hecho entregará aproximadamente un máximo de tensión a máxima potencia de 17V. Si queremos tensiones superiores basta con conectar paneles entre sí en serie. Por ejemplo en mi caso, seleccioné unos paneles de tensión nominal de 24V y una tensión de trabajo de 48V, por tanto el programa se encarga de colocar dos en serie para conseguir esos 48V. La cantidad de paneles conectados en paralelo son los que determinarán la potencia que necesitamos.

Ya se dijo que Ihoga tiene una base de datos con variedad de componentes, da ahí se obtienen diversos paneles con distintas tensiones precios y demás características. A parte de ello una vez elegido el panel tenemos varios parámetros que podemos ajustar para hacer el sistema más adecuado.

Por ejemplo el precio del mantenimiento de dichos paneles, seleccionando un valor que será fijo y anual a lo largo de la vida de los paneles. En este caso al ser una pequeña instalación supondremos unos 50 euros de coste de mantenimiento, en otras instalaciones de mayor envergadura podría llegar a suponer un total del 5% del coste total de la instalación.

Otra característica es el factor de seguridad que implica la suciedad que pueda producirse en los paneles reduciendo su rendimiento. En mi caso ya que mi vivienda está cerca del campo he elegido un $FS = 1,2$

Veamos como calcula el programa los parámetros de los paneles.

En nuestro caso los paneles seleccionados no tienen la función de máxima potencia, al ser una pequeña instalación no me pareció necesario económicamente hablando que los paneles tuvieran dicha característica.

Sin esta característica la tensión será la fijada por el banco de baterías, por tanto la tensión del generador fotovoltaico será la nominal del sistema, es decir:

$$V_{busDC} = V_{npanel} \cdot N_{paneles\ serie}$$

Luego la potencia del panel se calculará como:

$$P = \frac{I_{sc} \cdot G \cdot V_{npanel} \cdot N_{panel\ serie} \cdot N_{panel\ paralelo}}{FS}$$

Siendo G la irradiancia en kW/m² sobre los paneles.

El programa supone que en esta opción la temperatura no influirá salvo en condiciones extremas, así que no indagaremos en este apartado.

En caso de elegir el seguimiento de máxima potencia, la potencia se calcula de igual manera sólo que en vez usar la potencia $P_n = I_{sc} \cdot V_{npanel}$ en el numerador, se sustituye por la máxima potencia que entregará el panel (W_p).

3.4 CARACTERÍSTICAS PARA ELECCIÓN DEL INVERSOR:

En principio seleccionamos el panel que queremos utilizar, y demás componentes, pero eso no quiere decir que sea acertada u óptima la elección que hemos hecho de dichos componentes. Por ello es probable que el programa cambie alguno de ellos con tal de hacer la solución más económica y eficiente.

Primero debemos elegir un inversor compatible con la tensión de trabajo, de otro modo será el programa el que nos avise de ello. Ihoga da la posibilidad de elegir un inversor con cargador de baterías fijando la corriente máxima de carga, y también inversores bidireccionales. En cualquiera de estas dos opciones podemos elegir si queremos con seguidor del punto de máxima potencia.

Con la casilla marcada que indica forzar el inversor para dar la máxima potencia, el programa elegirá el inversor más pequeño que acepte nuestro sistema para hacer trabajar a dicha potencia. En mi caso, el estudio de este proyecto no es el de dimensionar un sistema híbrido lo más económico posible, sino el de demostrar que un sistema híbrido PANELES+BATERIAS+GENERADOR DIESEL es más rentable que un sistema de PANELES+BATERIAS, y mucho más rentable que un sistema sólo con generador diesel. Por tanto la selección del inversor ha sido mía y no de Ihoga, con la finalidad de poder demostrar lo explicado.

3.5 CÓMO SELECCIONAR LAS BATERÍAS:

En el apartado de baterías ya se dijo que para este tipo de sistemas las baterías más recomendables son las de tipo Plomo-Ácido por temas de calidad-precio. Como sabemos son encargadas de cubrir la demanda cuando los paneles no sean capaces de hacerlo dando una autonomía al sistema, y también encargadas de mantener un valor de tensión constante. Normalmente cada módulo de batería tiene una tensión en bornes de unos 2V, digo normalmente ya que Ihoga ofrece baterías con tensiones diferentes, pero en nuestro caso son de 2V. Por tanto al igual que los paneles si por ejemplo mi tensión de trabajo va a ser de 48V, necesito un total de 24 baterías conectadas en serie. Y también como en el caso de los paneles, la cantidad de baterías conectadas en paralelo deben ser las suficientes para satisfacer la energía demandada, así como la autonomía impuesta y la potencia de pico.

El programa calculará el número de baterías como:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{D[Wh/día] \cdot d \cdot C_s}{C_n[Ah] \cdot DOD \cdot F_t \cdot V_n}$$

Cn: capacidad nominal

d: días de autonomía

Cs: coeficiente de seguridad

D: demanda diaria

DOD: profundidad de descarga máxima

Ft: factor de corrección de la temperatura

Vn: tensión nominal

Como se puede apreciar en la fórmula anterior aparece la capacidad nominal de la batería. Esta característica es digamos la cantidad de energía que puede suministrar el elemento en un tiempo determinado. Cuanto más rápido se cargue y descargue la batería y sabiendo que lo va a hacer multitud de veces en nuestro sistema, más sufrirá la vida útil de esta. Es una característica que se mide en Ah y es ofrecida por el fabricante. Éste ofrece distintos valores de capacidad de descarga para diferente cantidad de horas, así una batería C_{20} tardará 20 horas en descargarse para ese valor de capacidad y la misma batería C_{100} tardaría 100 horas para esta nueva capacidad indicada. Aquí entra en juego la profundidad de descarga, ya mencionamos que es un valor que se mide en porcentaje, y es el porcentaje máximo recomendado por el fabricante de descarga máxima de la batería sin dañarla. Para nuestro tipo de sistema fotovoltaico se recomienda una profundidad de descarga del 80% ($PD = 80\%$) de la capacidad total de la batería en cuestión. El estado de carga de la batería se denomina SOC (del inglés State of Charge) que indica el porcentaje de carga normalmente sobre el total, pero no es aconsejable que se mida sobre el total ya que una batería electroquímica no debe tener un SOC 0% ya que resultaría dañada, por tanto el SOCmín se establece como un porcentaje sobre la profundidad de descarga máxima. Cada batería tendrá un número de ciclos de vida para cada valor de profundidad de descarga, por ejemplo con una profundidad de descarga del 10% la batería tendrá un número mayor de ciclos de vida que para un valor $PD = 40\%$. Ihoga como indica el manual, calcula la energía ciclada en la vida de las baterías siempre que el valor PD sea menor que $100 - SOC_{mín}$. Si PD es mayor que este valor el programa lo toma como que nunca operará la batería. La fórmula de este cálculo de energía ciclada y el de los números de ciclos equivalente viene explicada en el manual.

El tipo de batería seleccionado para este tipo de instalaciones solares más recomendado por fabricantes son las de tipo OPZS. Son baterías que permiten acumular grandes cantidades de energía, con larga vida útil del orden de 10 a 20 años, soportan profundos ciclos de descarga con buenos resultados, y son aptas para uso diario y continuado.

El modelo de elección de las baterías elegido para el programa es el Ah (schuhmacher 1993) debido a su simplicidad, ya que tampoco es tema del proyecto profundizar en este ámbito demasiado.

También podemos seleccionar el modelo de vida de las baterías entre Rainflow (conteo de ciclos) o por Ciclos equivalentes.

Si una batería comienza a descargarse estando cargada al máximo de su capacidad, sufre menor desgaste que si tiene un SOC<100%. Por este motivo he elegido el modelo de vida Rainflow, que tiene este factor en cuenta, el mayor desgaste si cada ciclo no comienza al 100% de carga. El fabricante nos proporciona una curva de ciclos de descarga frente a la profundidad de descarga C_F suponiendo que las baterías se descargan desde un SOC=100%. Con el factor Rainflow “F” que veremos en la siguiente fórmula, el programa crea una curva límite inferior para los ciclos que comienzan y finalizan en el mínimo estado de carga posible para esos ciclos. Lo calcula según esta fórmula:

$$C_{F,L} = F(C_F - C_{F,R}) + C_{F,R}$$

Siendo C_F la curva ofrecida por el fabricante, F el factor Rainflow, $C_{F,R}$ la recta de referencia que veremos en la siguiente gráfica ofrecida por el manual, y por último $C_{F,L}$ que es la curva descrita anteriormente para ciclos que empiezan por debajo del SOC=100%.

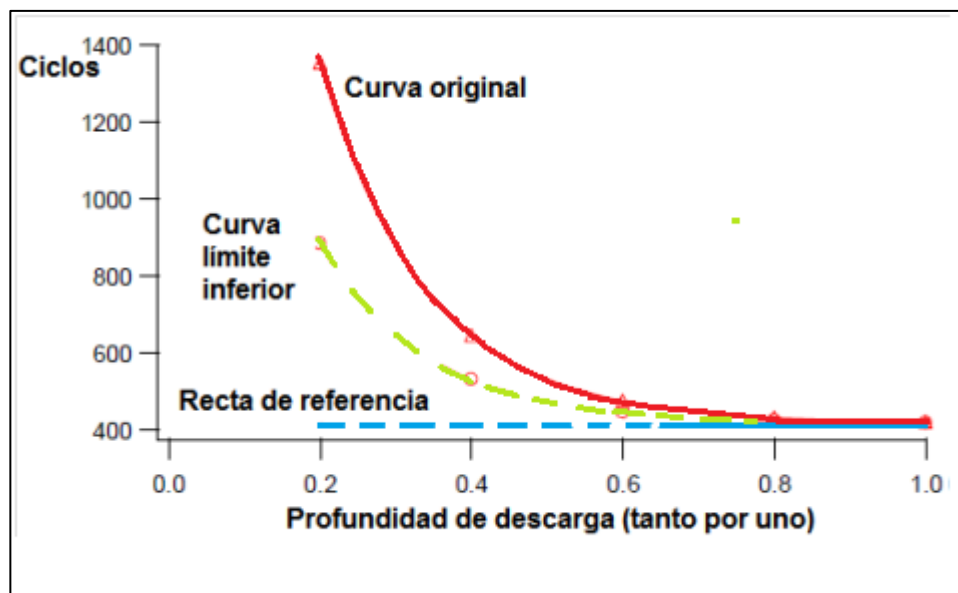


Ilustración 45: curvas ciclado de vida de la batería

3.6 REGULADOR DE CARGA DE LAS BATERÍAS:

Como sabemos las baterías son elementos delicados en algunos aspectos, por ello es necesario la instalación de un regulador de carga que perita la protección a la hora de cargar y descargar las baterías. El regulador se encarga de proteger a la batería contra sobrecargas que produzcan la gasificación y sobre descargas que podrían directamente acabar con la batería. Por tanto ante sobrecargas desconectarán las baterías de la parte de la generación y ante sobre descargas las desconectarán del consumo. Por otro lado existen inversores que contienen un regulador de carga para baterías pero aún así es recomendable la instalación de un regulador.

3.7 EL GENERADOR DE APOYO DE COMBUSTIBLE FÓSIL:

El programa contiene múltiples tipos de generadores según potencia nominal y según el combustible fósil que utilicen diesel o gasolina. El programa elegirá por defecto el que mejor se adapte a nuestra instalación teniendo en cuenta valores como el consumo de combustible fósil por KW generado y el precio del generador en base a las horas anuales de uso que se le va a exigir. El programa nos ofrece para cada generador la curva de consumo y la fórmula de la cual obtiene dichos resultados. En la siguiente imagen vemos la curva de consumo por kW generado del generador elegido en mi sistema.

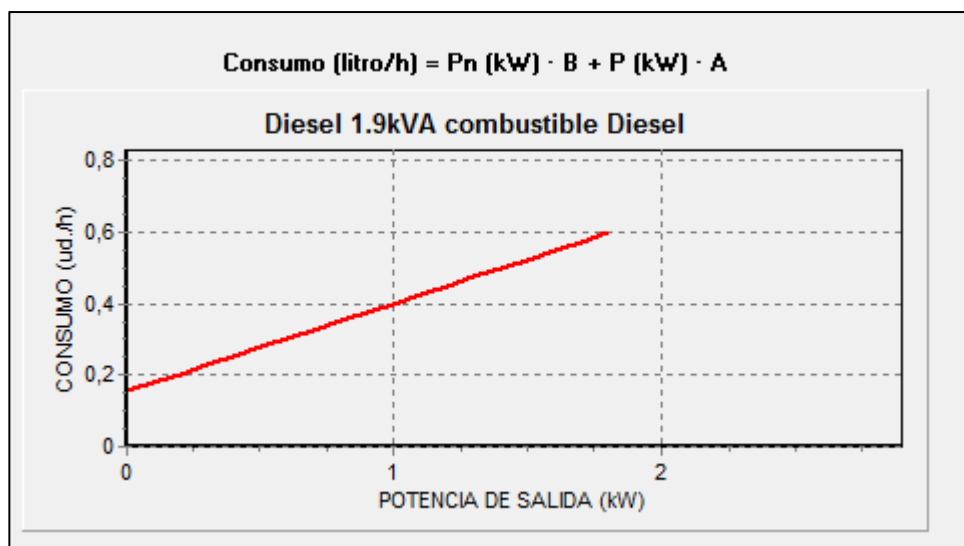


Ilustración 46: curva de consumo por KW del generador diesel de 1,9kVA

En el programa también se tiene en cuenta la inflación de combustible, y lo analiza de forma separada a la inflación que aparece en la pantalla principal para el resto de componentes y materiales, ya que se espera una inflación un tanto mayor para combustibles que para materiales de cualquier tipo del proyecto.

Y por último también nos ofrece información sobre las emisiones de CO₂ que en nuestro caso al haber elegido diesel por su notablemente mayor vida útil que un generador gasolina y menor consumo, y ser el generador más pequeño de la lista no será una característica que tengamos en cuenta para el generador diesel.

3.8 OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA:

Esta es la base de datos principal del programa y para mí la más compleja de comprender. Es la parte que apenas vemos, (pero la que más me ha impresionado) ya que según las estrategias y los métodos de optimización que tiene el programa selecciona un sistema óptimo de entre para mi gusto casi “infinitas” posibilidades que podemos crear con esta herramienta.

Se compone de dos algoritmos principales en los que podemos seleccionar la estrategia de control que deseamos y los componentes que hayamos elegido para el sistema.

En cuanto a componentes ya hemos dicho que el programa dispone de una amplia base de datos de todos los tipos y aún así da la posibilidad de añadir el que nosotros queramos si ninguno de los ofrecidos cumple nuestras expectativas.

Y por otro lado en cuanto a los métodos de optimización se puede elegir entre el algoritmo numérico y el genético. El primer algoritmo mencionado procesa todas las combinaciones posibles con los elementos y estrategia de control elegidos, entregándonos los diez resultados más eficientes económicamente hablando. Mientras que el segundo método de optimización podemos limitar el número de generaciones, tasa de cruce o población.

La estrategia que puede seguir el programa en cuanto al objetivo de la optimización, puede ser multi o mono-objetivo, dependiendo las condiciones que queremos que cumpla. En nuestro caso he seleccionado una estrategia de optimización mono-objetivo basada en el porcentaje de la energía no servida, ya que en mi sistema, aunque sea una vivienda y no haya peligro por un corte prolongado de suministro, podría producir algunas pérdidas económicas que no quiero que ocurran. Por tanto se basa en estrategia mono-objetivo de Energía no servida = 0%. El sistema buscará la solución más económica sin cortes de suministro y con los elementos que yo haya seleccionado.

Una vez explicado esto necesitamos determinar la estrategia de control de la variable que queremos optimizar. Aunque también ofrece la posibilidad de usar las dos estrategias que ofrece el programa eligiendo la que más convenga. En mi caso seleccione una única estrategia, ya que tenía que comparar distintos sistemas y deben ser lo más parecidos posibles.

- Estrategia de control mediante carga cíclica: se basa en que cuando la energía de los paneles es insuficiente para cubrir la demanda y las baterías tampoco son capaces de abastecerla, entra en funcionamiento el generador utilizando toda su potencia nominal. De modo que si la demanda es menor que la potencia ofrecida por el generador diesel, el excedente de energía se utilizara para cargar las baterías. En este modo de carga cíclica también podemos marcar la casilla “Seguir hasta SOC setpoint” el generador sigue funcionando a potencia nominal hasta llegar al valor de la variable SOC setpoint generator que por defecto será del 95%.

- Estrategia de control de seguimiento de la demanda: Es similar al caso anterior, con la diferencia de que si el generador fotovoltaico y las baterías no son capaces de cubrir la demanda, el generador diesel entrará en funcionamiento únicamente para abastecer la demanda que no ha sido cubierta que no tiene por qué ser la potencia nominal.

En cuanto a los aspectos económicos del sistema el programa también ofrece varias posibilidades como vemos en la siguiente imagen.

PARÁMETROS ECONÓMICOS:
Intereses del mercado: (precio del dinero) %
Inflación esperada general (O&M...): %
Periodo de estudio años
Moneda:
Cableado, instalación y costes variables iniciales: € Fijo + % sobre C. inicial

Tasa de descuento general (%):
1.96 %

Préstamo (cuota constante, sistema francés):
Cantidad prestada: %
del coste inicial de la inversión
Interés del préstamo: %
Duración del préstamo: años

Ilustración 47: parámetros económicos

La imagen tomada corresponde con mi caso de estudio con mis valores elegidos. Podemos observar que el programa nos da la posibilidad de elegir cuanta cantidad del coste total queremos pedir como préstamo, elegir el interés de éste y en cuantos años queremos pagar dicho préstamo. El programa nos ofrecerá al final del cálculo de la instalación las gráficas de costes de toda la instalación así como datos del préstamo.

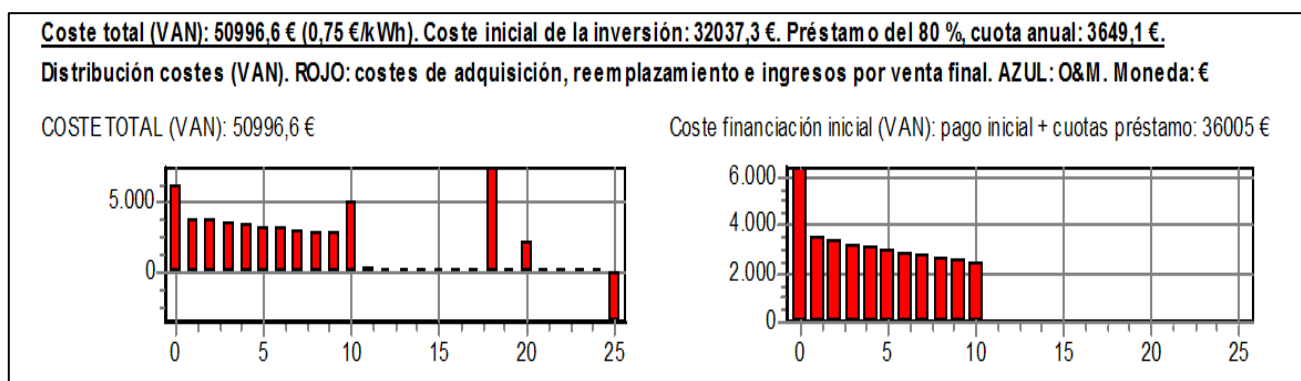


Ilustración 48: gráfica de costes

Por otro lado podemos ver en la ilustración 48 más parámetros elegidos como el interés de mercado, costes de instalación, etc. Los años del período de estudio elegido se basan en la vida útil de los paneles, por ello son 25 años.

4. SIMULACIONES CON IHOGA

La base de este proyecto es dar a demostrar la ventaja económica que ofrecen los sistemas híbridos frente a un sistema renovable simple sin apoyo de generación fósil, y mucho más en comparación con un sistema de abastecimiento únicamente por generador diesel. Cabe resaltar que quizá existan más configuraciones que puedan salir más económicas que éstas, pero como digo la clave es demostrar que un sistema híbrido con componentes idénticos, es más económico que un sistema que se basa únicamente en energías renovables a la par que más fiable debido al sistema de apoyo que ofrece un generador de combustible fósil. *(Con ello no quiero decir que las simulaciones se hayan llevado a cabo al azar ya que he tenido que jugar con todo tipo de modelos de componentes, el número de estos a utilizar, autonomía del sistema y distintas tensiones de trabajo. Los estudios se explicarán con más detalle en sus correspondientes apartados en adelante).*

Aunque es cierto que las emisiones de CO₂ en un sistema híbrido son mayores que un sistema renovable únicamente, si bien es cierto que el ahorro económico frente a las pequeñas emisiones merece la pena. Mirando desde otra perspectiva en un sistema híbrido se ahorra en componentes que de algún modo en su fabricación en la industria también se emiten ciertas emisiones.

La teoría de este proyecto se demostrará de la siguiente manera.

En primer lugar hacemos una selección de los elementos que vamos a utilizar. Partiendo de que con diferentes combinaciones de componentes y potencias de cada elemento individual podemos llegar a resultados económicos similares, se seleccionará un conjunto de elementos que nos dé la posibilidad de tener un correcto funcionamiento y abastecimiento continuo con los mismos componentes en los casos de estudio.

Para obtener una primera impresión de qué modelo de componentes serán necesarios realicé una primera simulación para encontrar el sistema más económico que me ofrecía el programa. De esta primera prueba saqué la conclusión del modelo de paneles que iba a utilizar. Por ejemplo variando la potencia de los paneles me di cuenta que hasta cierto punto y debido a mi perfil de consumo, la elección de paneles con mayor potencia que otros me resultaba algo más económico.

En cuanto a la elección de baterías como ya dije anteriormente las más adecuadas son las de tipo OPZS que ofrecen un gran rendimiento para usos de carga y descarga diarios y garantizando una larga vida útil cubriendo las necesidades que se buscaban.

Partiendo de las baterías OPZS comencé a simular con distintos tipos de modelos de fabricantes y a su vez variando la posibilidad de usar una mayor o menor cantidad de éstas en paralelo. Pero en realidad la cantidad que fija el programa en cuanto a número de baterías en paralelo me di cuenta que era la más económica. Así una vez llegada a esta conclusión sólo me quedaba seleccionar la capacidad, que igualmente fui simulando con distintas capacidades hasta dar con la batería elegida.

En cuanto al inversor, también realicé varias pruebas con diferentes de ellos. A diferencia de paneles y baterías que aceptan cualquier tensión de trabajo (simplemente basta con colocar el número adecuado de ellos en serie para conseguir dicha tensión) para elegir el inversor necesito saber la tensión de trabajo antes de seleccionar uno. Después de varias pruebas la tensión de trabajo elegida fue de 48V, que aparte de reducirse las pérdidas del sistema, al usar una tensión mayor me facilita las combinaciones a las que llegué finalmente para demostrar la teoría. Con este dato seleccionando con el programa los inversores que cumplen el requisito de la tensión de trabajo, luego selecciona el que mejor se adapta a mi instalación. Aún así debido a que tenía que usar el mismo modelo de componentes para la demostración tuve que elegir el que mejor se adaptaba para los casos diferentes de simulación.

De nuevo con el regulador de carga de las baterías, primero seleccioné los que admitían la tensión de trabajo del sistema. Y después de varias simulaciones llegué al modelo seleccionado, ya que como me ocurrió con los inversores, necesitaba uno que me sirviera tanto para el sistema de paneles+baterías, como para el sistema híbrido de paneles+baterías+generador de apoyo.

Y por último la selección del generador de respaldo de combustible fósil. El programa me ofrece varios modelos con distintas potencias y con combustibles diesel o gasolina. En cuanto a potencia no fue muy complicado ya que el más pequeño de potencia era a su vez el más económico y cubría las necesidades de mi sistema (hablando de los diesel que fueron los elegidos). Aún así probé con generadores mayores diesel y lo único que conseguía era que aumentara el precio del sistema con resultados de abastecimiento

idénticos, al igual que con motores gasolina de menor potencia que me ofrecía el programa. Me decanté por el combustible diesel, primero porque el precio del combustible diesel frente a la gasolina es más económico y los generadores diesel consumen menos. Y en segundo lugar, pese a que los generadores diesel son algo más caros y tienen un coste de mantenimiento mayor, también tienen una vida útil en horas unas 10 veces mayor que la de un generador gasolina, y hablando de este tipo de sistemas en los que los paneles se estima una vida útil de unos 25 años, me pareció más económico a la larga que un generador gasolina.

Una vez explicado cómo llegué a la elección de los componentes, se describirán éstos más detalladamente en cada caso de simulación.

Para un mismo lugar, datos de irradiación, perfil de consumo y componentes idénticos se simularán 3 casos. Dejando claro que es un sistema aislado de red, y que se realiza el dimensionado garantizando que no va a haber nunca un corte de suministro (salvo causas mayores).

En el caso 1 se simulará un sistema de paneles fotovoltaicos con banco de baterías, y con el regulador e inversor elegido.

En el caso 2 se abastecerá toda la demanda únicamente con el generador de combustible fósil.

En el caso 3 el sistema será de paneles fotovoltaicos con banco de baterías, un generador diesel de respaldo, un inversor y un regulador de carga. Todos los componentes con características idénticas al caso 1. Se estudiará con la estrategia de control por seguimiento de la demanda y por la estrategia de carga cíclica.

En el capítulo final se explicarán los datos económicos de cada caso y quedará demostrado que es más rentable un sistema híbrido como en el caso 3 que un sistema únicamente renovable como es el caso 1.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y ELEMENTOS DEL CASO1:

En este caso se aprovechará para dar a conocer los datos y tipos de elementos elegidos que serán los mismos que para el caso 3. La situación geográfica, datos de irradiación y perfil de consumo serán los mismos en los tres casos. Se darán por explicados en este apartado y se supondrán para el resto del proyecto.

Habiendo comentado las razones por las que se ha elegido cada elemento pasaremos directamente a describir los datos y características de los elementos directamente.

4.1.1 Datos de irradiación y ángulo de inclinación óptimo:

Ya se mencionaron anteriormente al igual que el emplazamiento y como se obtuvieron los datos, pero los mostraré de nuevo.

El sistema está ubicado en la población de Seseña Nuevo (Toledo)

- Latitud(°) (+N,-S) = 40,1
- Longitud(°)(+E,-O) = -3,65

Los datos de irradiación son los siguientes.

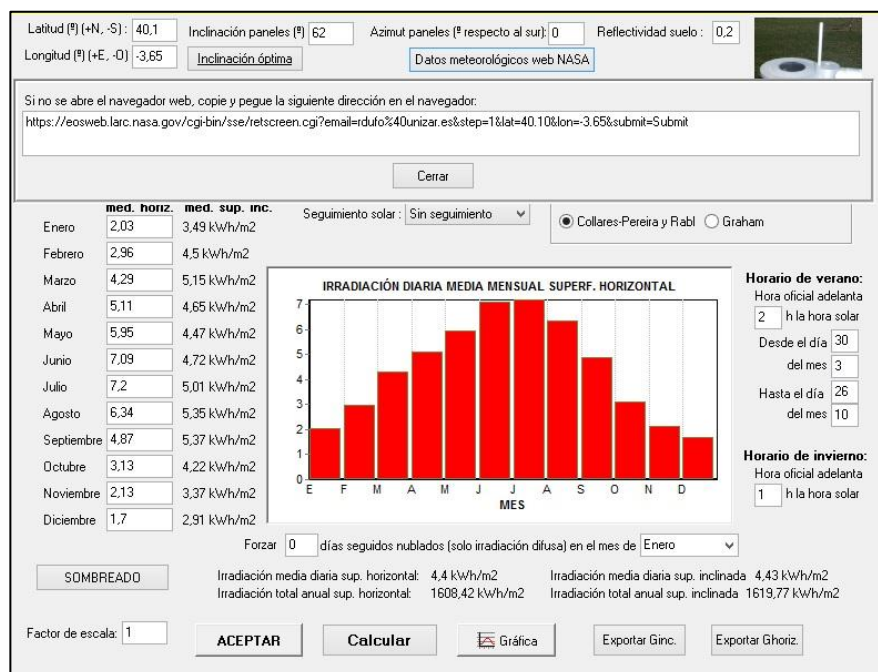


Ilustración 49: datos de irradiación de mi situación.

Podemos comprobar en la siguiente imagen que el ángulo óptimo ofrecido por el programa es en el que se da la máxima cantidad de radiación en el peor mes de estudio (Diciembre). En cuyo caso es de 62° con una radiación de 2,92 kWh/día.

Irradiación diaria media para cada mes del año y para el año entero. Inclinationes 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° y óptima.									
El azimut seleccionado (0°) es el óptimo para latitudes norte									
	Rad. 0° (kWh/día)	Rad. 15° (kWh/día)	Rad. 30° (kWh/día)	Rad. 45° (kWh/día)	Rad. 60° (kWh/día)	Rad. 75° (kWh/día)	Rad. 90° (kWh/día)	Inc. Opt. (°)	Rad. Inc. Opt. (kWh/día)
Enero	2,04	2,64	3,1	3,39	3,5	3,41	3,13	61	3,5
Febrero	3	3,7	4,21	4,49	4,52	4,31	3,85	54	4,54
Marzo	4,31	4,96	5,33	5,42	5,2	4,71	3,96	42	5,42
Abril	5,12	5,44	5,48	5,25	4,74	4,01	3,11	25	5,5
Mayo	5,99	6,05	5,84	5,34	4,58	3,67	2,63	11	6,07
Junio	7,11	7,03	6,61	5,89	4,87	3,71	2,46	5	7,13
Julio	7,25	7,24	6,89	6,19	5,16	3,96	2,64	7	7,3
Agosto	6,35	6,66	6,63	6,23	5,48	4,47	3,26	21	6,69
Septiembre	4,91	5,51	5,81	5,79	5,44	4,79	3,89	36	5,84
Octubre	3,15	3,73	4,13	4,3	4,25	3,96	3,47	49	4,31
Noviembre	2,14	2,68	3,08	3,32	3,38	3,26	2,97	58	3,39
Diciembre	1,7	2,19	2,57	2,82	2,92	2,85	2,64	62	2,92
AÑO COMPLETO	4,43	4,83	4,98	4,87	4,5	3,92	3,16	31	4,98

El mes de menor irradiación sobre superficie horizontal es DICIEMBRE

La inclinación óptima para maximizar la irradiación en DICIEMBRE (paneles fotovoltaicos fijos) es 62.º

Ilustración 50: ángulo óptimo de inclinación

4.1.2 Perfil de consumo:

El perfil de consumo elegido es el de una vivienda unifamiliar (más concretamente mi casa). Como ya dije después de elaborar un perfil aproximado del consumo de mi vivienda, he introducir los datos uno por uno me encontré con la sorpresa de que superaba el máximo de potencia media diaria impuesto por la versión gratuita del programa de 10kWh/día. Por tanto antes de inventarme unos datos que podían no corresponder con el perfil del consumo de una vivienda, decidí tomar uno de los perfiles que el programa ofrece como modelo de una vivienda de 7,42 kWh/día, que aunque sea menor que mi consumo para el estudio me sirve perfectamente. Y se ha añadido un factor de 1,5 para el consumo del fin de semana, de manera que en el fin de semana se gasta un 50% más que un día de diario.

Los datos del perfil son los siguientes.

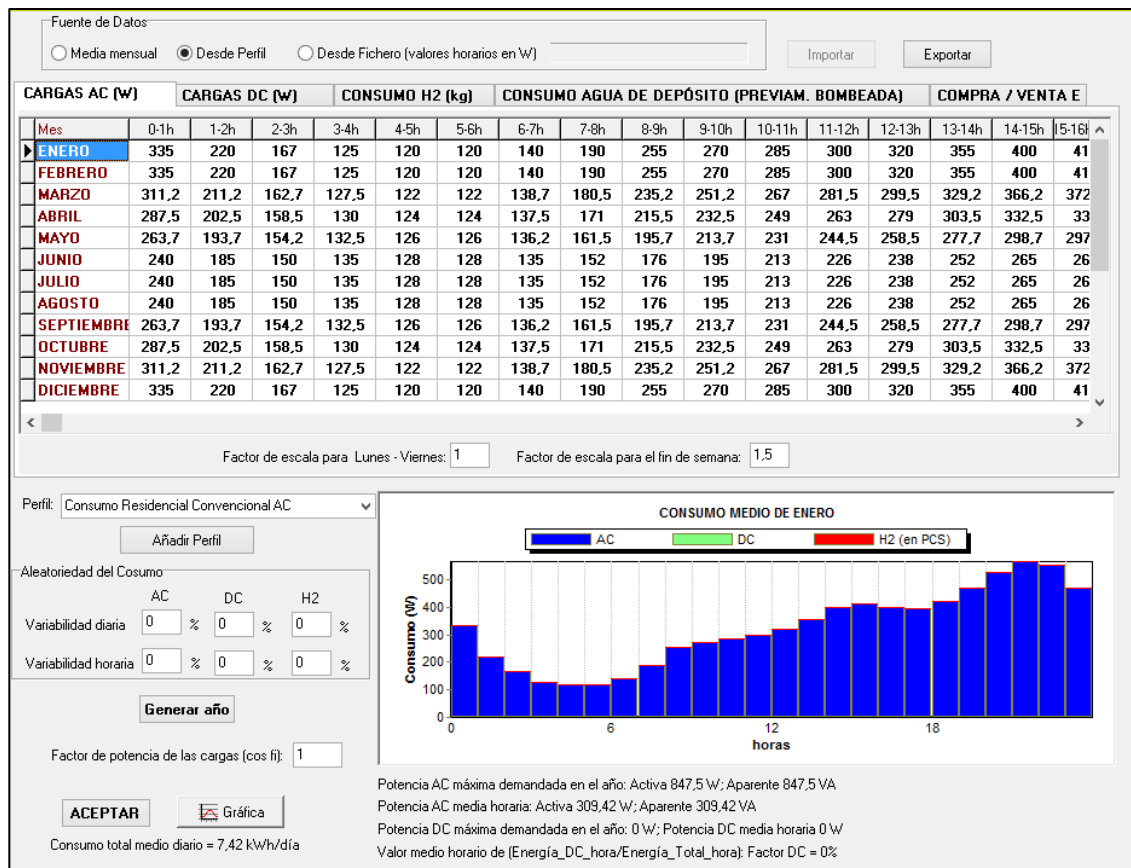


Ilustración 51: datos de perfil de consumo con gráfica media del mes de Enero.

4.1.3 Paneles fotovoltaicos:

El panel fotovoltaico elegido es el modelo SiP-24 A-290P del fabricante Atersa. La “P” de “SiP” indica que el panel seleccionado es de tipo poli-cristalino, el número 24 son los 24V de tensión del panel, y los 290 la potencia del panel en Wp. Decidí por este tipo de paneles ya que al parecer la diferencia entre mono-cristalino y poli-cristalino no es demasiada y para mi pequeña instalación me pareció un detalle ínfimo, y me resultaban algo más económicos en cuanto a la relación Wp/€.

La hoja de características proporcionada por el fabricante es la siguiente.

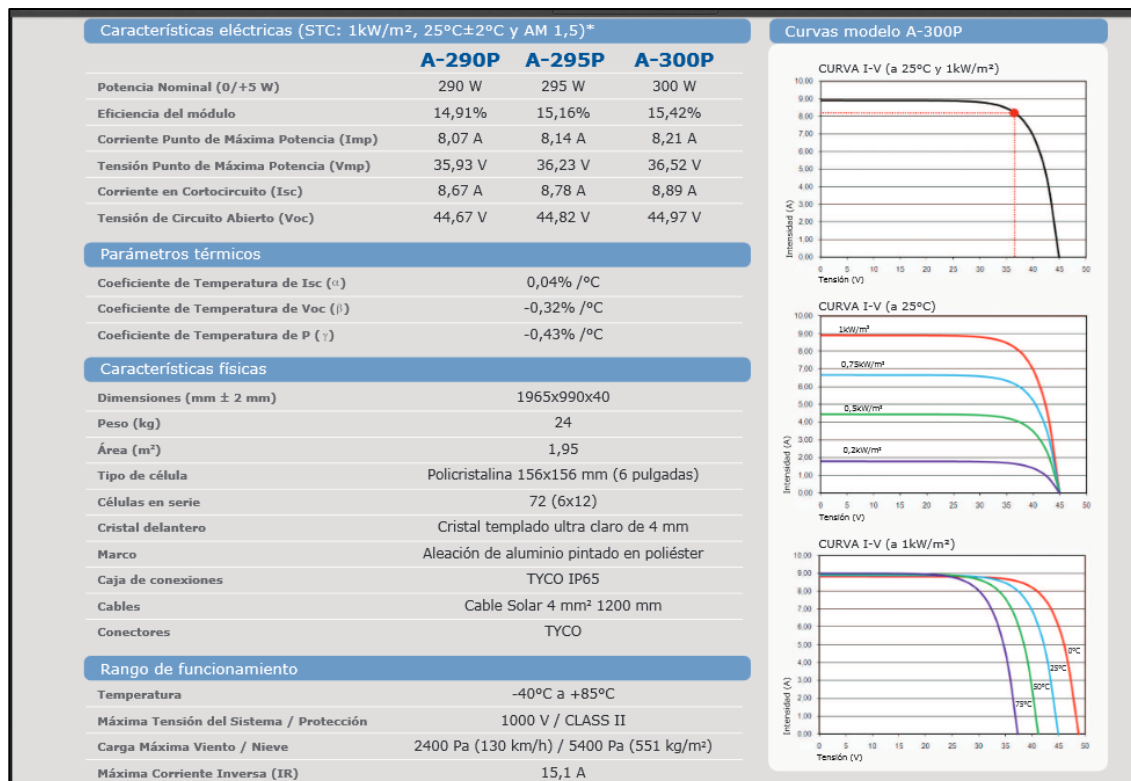


Ilustración 52: hoja de características del panel A-290P de Atersa.

4.1.4 Modelo de batería:

Como se ha mencionado varias veces, las baterías deben ser capaces de dar autonomía al sistema y abastecer la demanda cuando los paneles no sean capaces de hacerlo. Y también deben ser robustas para el sistema de estudio. Por tanto la batería seleccionada es una batería de la marca Hawker modelo 5 OpzS-250 con las características indicadas en la tabla del fabricante.

REF. ENERSYS 5200 CICLOS	REFERENCIA OpzS	TENSION (V)	CAPACIDAD AH (25°)			DIMENSIONES (mm)			PESO (Kg)
			10H / 1,80V	100H / 1,85V	120H / 1,85V	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	
TLS - 3	3 OpzS 150	2	180	240	244	103	206	389	16,40
TLS - 4	4 OpzS 200	2	220	295	300	103	206	389	18,40
TLS - 5	5 OpzS 250	2	270	361	367	124	206	389	22,20
TLS - 6	6 OpzS 300	2	323	433	440	145	206	389	26,00

Ilustración 53: características baterías fabricante Hawker

4.1.5 Inversor:

Sabiendo que la tensión de trabajo del sistema será de 48 V, esta será una característica para la elección del mismo, junto con la relación calidad precio, el inversor elegido es el ACME: 1000 con las características descritas en la siguiente ilustración. Que cubre las necesidades exigidas por las cargas de 847,5 VA de potencia máxima requerida.

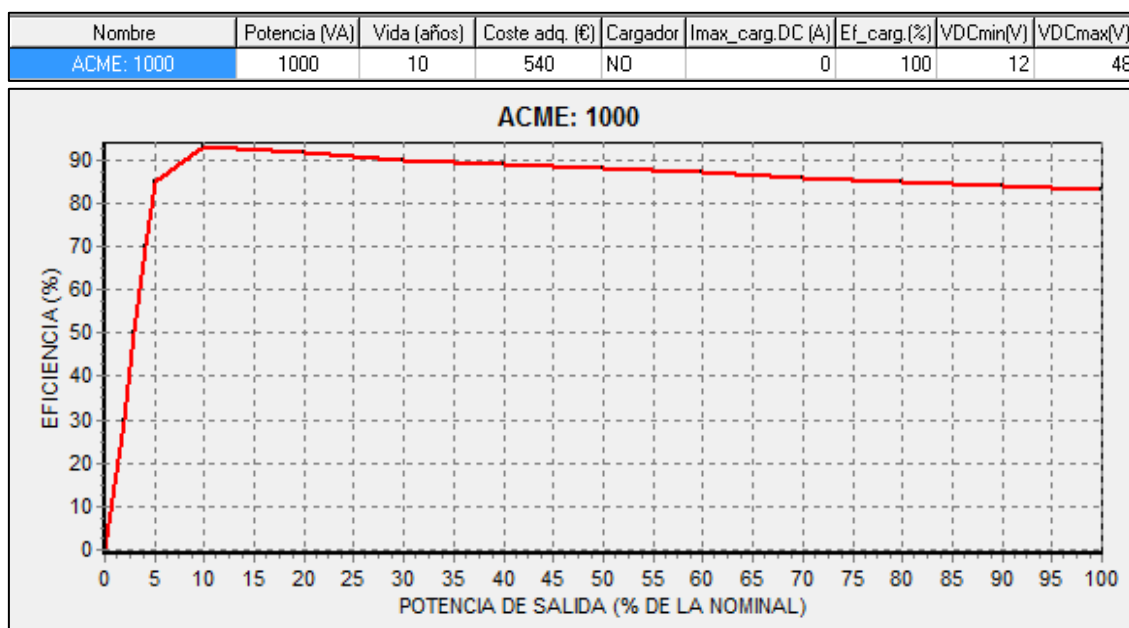


Ilustración 54: características del inversor ACME 1000

La potencia media horaria es igual a 309,42 VA, un 30,9% de la potencia nominal del inversor, lo que implica según vemos en la gráfica una eficiencia del inversor de un 89,9%.

4.1.6 Regulador de carga de las baterías:

He seleccionado el regulador de la marca STECA y modelo P TAROM 4140. La elección se debe a que están diseñados a conciencia para exteriores con la norma de estanqueidad IP-65, soportan una tensión de trabajo entre 12 V y 48 V, y su intensidad de entrada de DC es mayor que la que entregan los paneles a máxima potencia.

La hoja de características es la siguiente.

		2070	2140	4055	4110	4140
Funcionamiento						
Tensión del sistema		12 V (24 V)		48 V		
Consumo propio		14 mA				
Datos de entrada CC						
Tensión de circuito abierto del módulo solar		< 50 V		< 100 V		
Corriente del módulo		70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
Datos de salida CC						
Corriente de consumo		70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
programable	Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)		54,8 V		
	Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)		57,6 V		
	Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)		58,8 V		
	Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)		> 50 % / 50,4 V		
	Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)		< 30 % / 44,4 V		
Condiciones de uso						
Temperatura ambiente		-10 °C ... +60 °C				
Equipamiento y diseño						
Terminal (cable fino / único)		50 mm ² - AWG 1	95 mm ² - AWG 000	50 mm ² - AWG 1	70 mm ² - AWG 00	95 mm ² - AWG 000
Grado de protección		IP 65				
Dimensiones (X x Y x Z)		330 x 330 x 190 mm	360 x 330 x 190 mm	330 x 330 x 190 mm	360 x 330 x 190 mm	
Peso		10 kg				
Datos técnicos a 25 °C / 77 °F						

Ilustración 55: características del regulador de carga Steca P-Tarom 4140

Una vez descritos los datos y elementos seleccionados, que como repito serán los mismos elementos para el caso 3 salvo por añadir el generador diesel que será a su vez el mismo que en el caso 2 y será descrito ahí, pasamos a los resultados de la simulación de este caso 1.

4.2 SIMULACIÓN DEL CASO 1: PANELES+FOTOVOLTAICOS+BATERÍAS.

Con los componentes seleccionados, vamos a proceder a la simulación. El programa nos dirá la cantidad de baterías y paneles que debemos colocar tanto en serie como en paralelo para la obtención del sistema más económico.

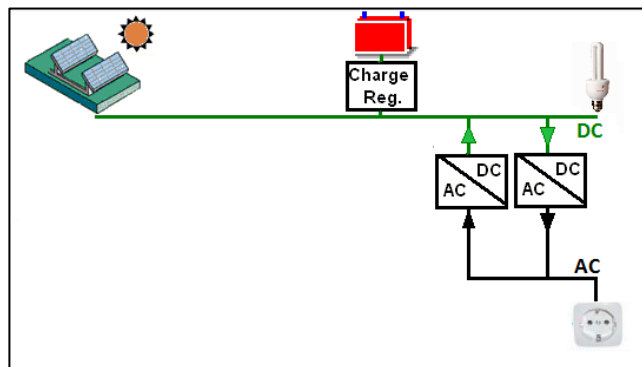


Ilustración 56: esquema caso1

Hay que mencionar que la estrategia de control tanto por seguimiento de la demanda como por carga cíclica que se explicaron en el apartado optimización y estrategia de análisis, no afectan a esta simulación ya que se diferencian una de otra en la actuación del generador diesel a una potencia u otra. Pero en el caso 3 veremos que económicamente si es notable la diferencia.

Los resultados de la simulación del caso 1 nos devuelven los siguientes datos.

CASO 1	MODELO	CANTIDAD
PANELES	PV SiP24-Atersa: A290P	2s x 11p
BATERÍAS	OPZS-Hawker: TLS-5	24s x 5p
REGULADOR	STECA: P TAROM 4140	1
INVERSOR	ACME: 1000	1
COSTE TOTAL	51936 €	

Ilustración 57: elementos caso 1

Se recomienda que el sistema de una vivienda de uso diario deba cumplir una autonomía de unos 5 días.

Veamos a continuación todos los datos extraídos de la simulación con Ihogra.

Las gráficas obtenidas nos muestran tanto los valores horarios, como mensuales y también anuales. Nos centraremos en los valores ofrecidos de manera mensual y anual.

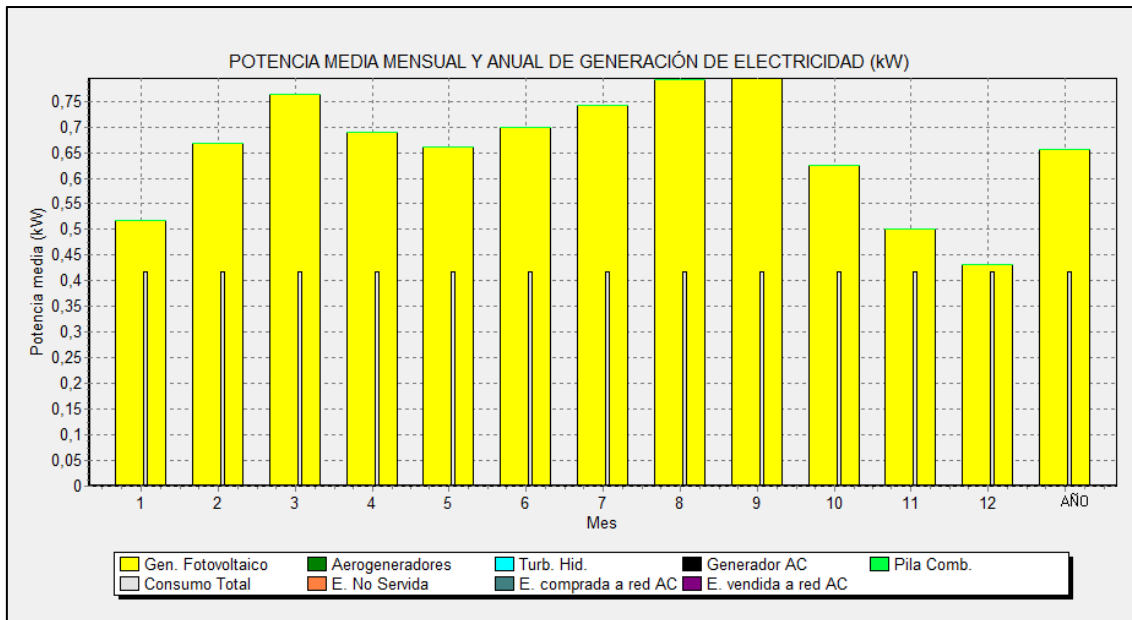


Ilustración 58: potencia mensual y anual de generación

Esta gráfica nos muestra los valores mensuales y anuales de la potencia media generada. Como se puede observar los paneles cubren perfectamente la demanda cumpliendo con la restricción impuesta de energía no servida = 0%, con su correspondiente exceso de energía utilizado para la carga del banco de baterías. También nos damos cuenta de que la máxima potencia entregada por los paneles es en los meses de verano. Y como es lógico al no haber ningún componente más de generación no aparecen en la gráfica.

En la siguiente gráfica veremos las variaciones de energía también de manera mensual y anual de los componentes por separado.

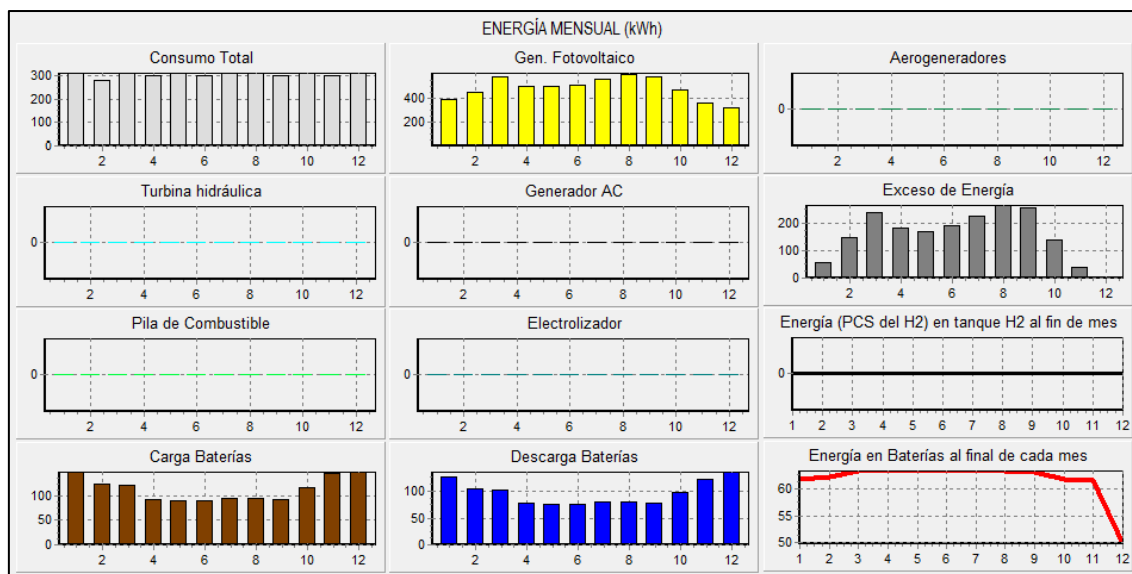


Ilustración 59: valores de energía mensual de cada componente

Aquí podemos ver más claramente como los paneles por ejemplo en febrero digamos que generan unos 448 kWh, el consumo es aproximadamente de 280 kWh que queda cubierto. El exceso de energía que serían unos 149 kWh que como vemos se utiliza para cargar las baterías hasta su límite de carga si es posible, en este mes por ejemplo se utilizan sólo 123 kWh de los 149 kWh para la carga total. La restricción del $SOC_{mín} > 20\%$ para proteger las baterías ante sobre descarga está impuesto por el programa, esto se aprecia en el informe anual por horas, pero que al ser extremadamente extenso no puedo adjuntar. En la siguiente tabla veremos todo esto más detalladamente con los números exactos del informe extraído del programa.

MES	Consumo	Fotov.	C. bat	D. bat	E.NoServ	Exceso
1	310.0	384.8	147.1	127.7	0.0	55.4
2	280.0	448.3	123.3	104.2	0.0	149.3
3	310.0	567.2	121.5	102.0	0.0	237.6
4	300.0	495.9	91.8	77.7	0.0	181.9
5	310.0	492.2	90.1	76.3	0.0	168.4
6	300.0	503.8	88.5	75.0	0.0	190.4
7	310.0	551.8	94.4	80.0	0.0	227.4
8	310.0	589.8	94.8	80.3	0.0	265.4
9	300.0	572.0	92.0	78.1	0.0	258.1
10	310.0	464.6	115.1	99.0	0.0	138.6
11	300.0	359.9	145.4	123.7	0.0	38.2
12	310.0	321.0	147.3	136.3	0.0	0.0
TOTAL	3649.9	5751.5	1351.2	1160.4	0.0	1910.7

Ilustración 60: informe energético de valores mensual y anual

Todos los valores anteriores están expresados en kWh.

Los aspectos económicos de los tres casos de simulación se estudiarán en el último capítulo junto con las conclusiones, ya que el tema principal del proyecto como expliqué es el de demostrar que el caso del sistema híbrido es el más económico de todos.

4.3 SIMULACIÓN DEL CASO 2: GENERADOR DE COMBUSTIBLE FÓSIL

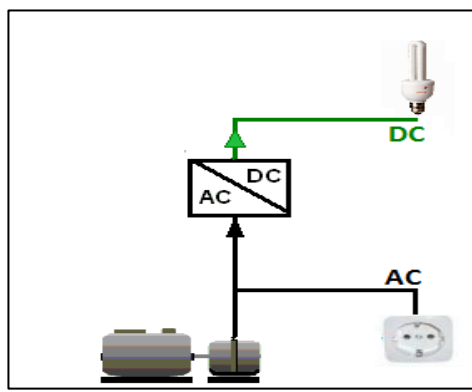


Ilustración 61: esquema caso 2

Los componentes serán todos del mismo tipo y el mismo modelo. En este caso de estudio sólo se utilizará el generador diesel para abastecer toda la carga. El perfil de consumo será el mismo así como las restricciones de energía no servida, y la estrategia de control que en este caso tampoco difiere si utilizamos seguimiento de la demanda o carga cíclica. El programa buscará la solución más económica, pero como mi generador ya está elegido solamente me ofrecerá una única combinación.

No se tendrá en cuenta la tensión de trabajo en el bus de DC ya que el generador trabaja en AC, ni restricciones de ningún tipo porque como hemos dicho el único elemento del sistema es el generador diesel.

Describamos las características del generador que también serán las mismas para el caso 3.

El generador a utilizar es un generador diesel de 1,9 kVA ofrecido por el programa, cuyas características son:

Nombre	(kVA)	(€)	(€/h)	(h)	(% de P _n)	Tipo	Unidad	(€/ud.)	(%)	(kg CO ₂ /ud.)	(ud./kW·h)	(ud./kW·h)
Diesel 1.9kVA	1.9	800	0.14	10000	30	Diesel	litro	0.83	5	3.5	0.246	0.08145

Ilustración 62: características del generador diesel

CASO 2	MODELO	CANTIDAD
GENERADOR DIESEL	AC diesel 1,9 kVA	1
COSTE TOTAL	99599 €	

Ilustración 63: cantidad y coste del generador diesel

Como podemos observar el precio en comparación al anterior caso se ha disparado, debido al precio del combustible fósil más la inflación del precio de un 4% en los 25 años del caso de estudio. El precio del combustible elegido es de 0.83 € suponiendo que se abastece de diesel agrícola, en caso de ser diesel normal sería mucho más caro aún. Por lo que este caso prácticamente quedaría descartado del estudio sin saber aún los resultados del siguiente caso, y eso sin contar que este sistema será el que más emisiones de CO₂ emitirá sin duda.

Veamos sus gráficas de energía anual y mensual.

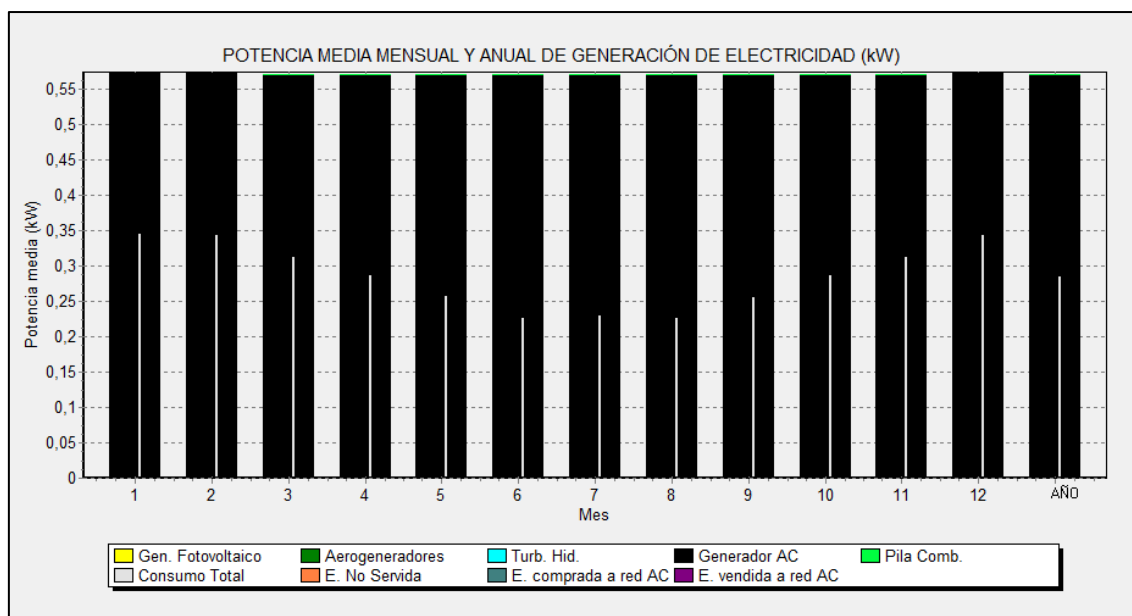


Ilustración 64: potencia media anual y mensual del generador

Se puede ver claramente que el generador abastece las cargas con creces. Esto es debido a las estrategias de control y las restricciones impuestas de energía no servida del 0%. Con una potencia mínima de 570 W existe un exceso energético mensual, que al no haber unas baterías que cargar, ni poder devolver dicha energía a la red por ser un sistema aislado, se perderá con el coste que ello conlleva. En la siguientes imágenes vemos como se cubre el consumo pero con un excedente de energía bastante desproporcionado.

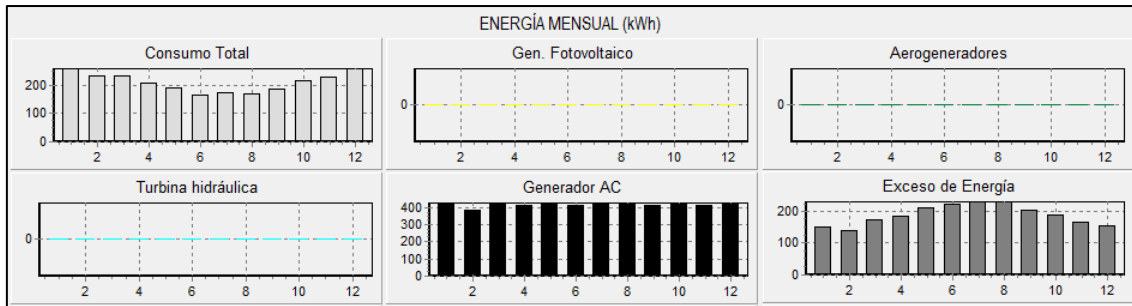


Ilustración 65: energía mensual

MES	Consumo	Cons.AC	Gen.AC	Comb.Gen.	Cost.Comb.	Exceso
1	257.6	257.6	426.7	220.1	182.7	152.1
2	231.1	231.1	385.1	198.7	164.9	138.6
3	233.1	233.1	424.5	219.5	182.2	172.2
4	206.6	206.6	410.4	212.4	176.3	183.4
5	191.6	191.6	424.1	219.5	182.2	209.2
6	164.0	164.0	410.4	212.4	176.3	221.8
7	171.2	171.2	424.1	219.5	182.2	227.6
8	169.2	169.2	424.1	219.5	182.2	229.4
9	184.6	184.6	410.4	212.4	176.3	203.2
10	214.4	214.4	424.1	219.5	182.2	188.7
11	226.0	226.0	410.8	212.5	176.4	166.3
12	256.1	256.1	426.4	220.0	182.6	153.3
TOTAL	2505.7	2505.7	5000.8	2585.6	2146.5	2245.8

Ilustración 66: informe energético caso 2

Los valores energéticos están expresados en kWh, el coste de combustible en euros y el consumo del mismo en litros.

Como sabemos el análisis económico se llevará a cabo en el último capítulo.

4.4 SIMULACIÓN DEL CASO 3:

PANELES FOTOVOLTAICOS+BATERÍAS+GENERADOR DIESEL

Todos los componentes que se utilizarán en este caso se han descrito en el caso 1 salvo el generador que será el utilizado en el caso 2. Por tanto después de la simulación los elementos y su disposición son los siguientes.

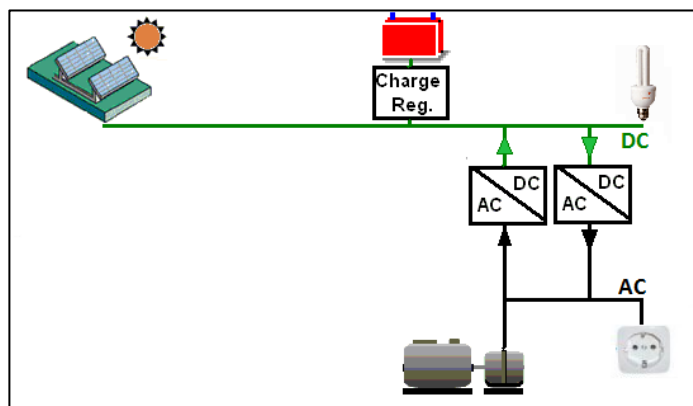


Ilustración 67: esquema caso 3

CASO 3	MODELO	CANTIDAD
PANELES	PV SiP24-Atersa: A290P	2s x 7p
BATERÍAS	OPZS-Hawker:TLS-5	24s x 1p
REGULADOR	STECA: P TAROM 4140	1
INVERSOR	ACME: 1000	1
GENERADOR DIESEL	AC diesel 1,9 kVA	1
COSTE TOTAL (Con seguimiento de la demanda)	31666 €	
COSTE TOTAL (Con carga cíclica)	29947 €	

Ilustración 68: elementos caso 3

Lo primero que cabe destacar es el precio del sistema frente a los otros casos pero ese tema se atacará más adelante.

En este caso estudiaremos el mismo sistema híbrido con dos estrategias de control diferentes, la primera será la estrategia de control de seguimiento de la demanda, esto quiere decir que si los paneles y baterías no son capaces de abastecer la demanda, el generador entrará en funcionamiento pero solo y exclusivamente para abastecer la demanda a la potencia que exijan las cargas. La segunda ligeramente más económica será

la estrategia de control con carga cíclica, que consiste en que cuando el generador fotovoltaico y las baterías no puedan cubrir la demanda, entra el generador diesel como apoyo pero con su potencia nominal, utilizando el excedente de energía para cargar baterías.

Las restricciones siguen manteniéndose, como son la energía no servida al 0% y $SOC_{\min} > 20\%$.

Veamos las gráficas de potencia media mensual y anual y las mensuales de cada elemento por separado del caso 3 tanto para la estrategia de seguimiento de la demanda como para estrategia de carga cíclica.

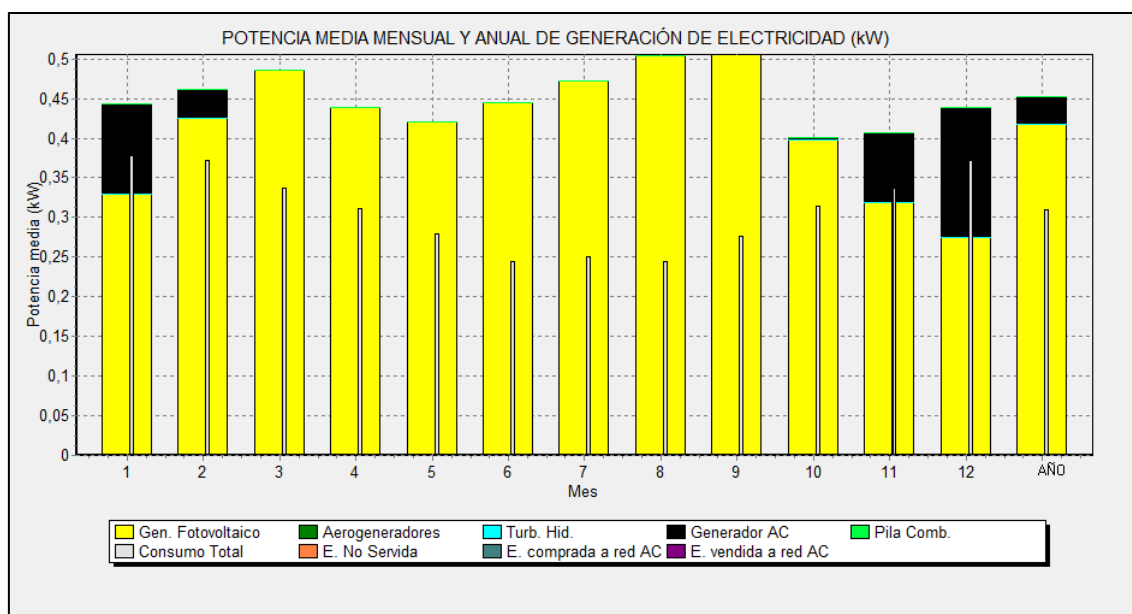


Ilustración 69: potencia media mensual anual cas3 con seguimiento de la demanda

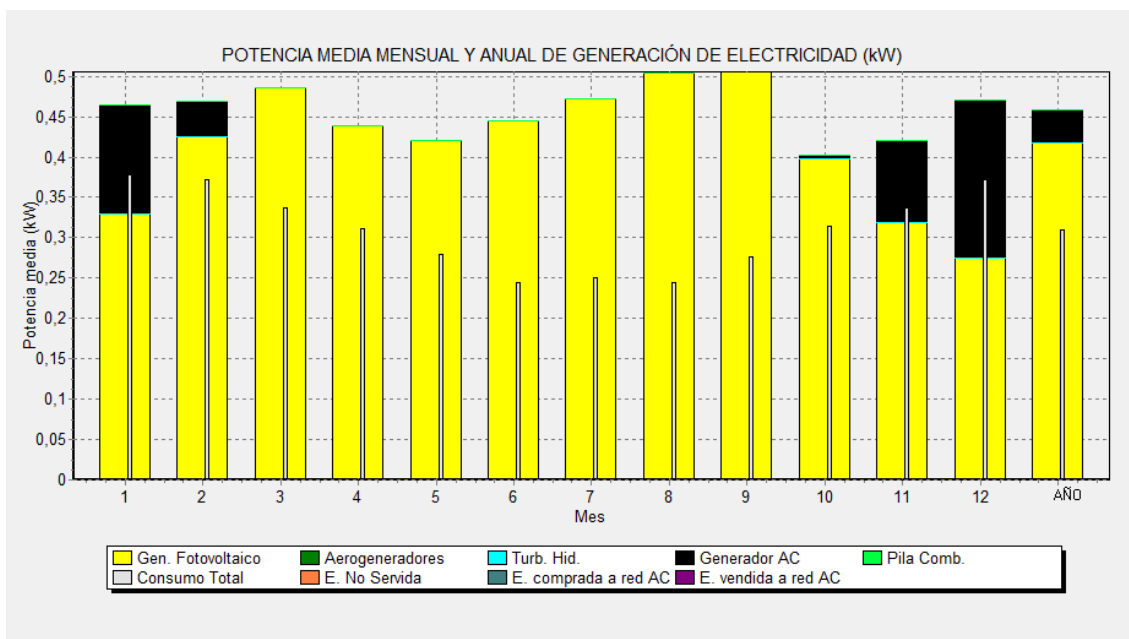


Ilustración 70: potencia media mensual anual cas3 con carga cíclica

En ambas gráficas podemos observar que el generador entra como respaldo en los meses de invierno en los que los paneles no son capaces de abastecer la demanda por falta de irradiación. Este respaldo permite disminuir el número de baterías y a su vez el coste de energía ya que no necesitamos cumplir ningún tipo de autonomía.

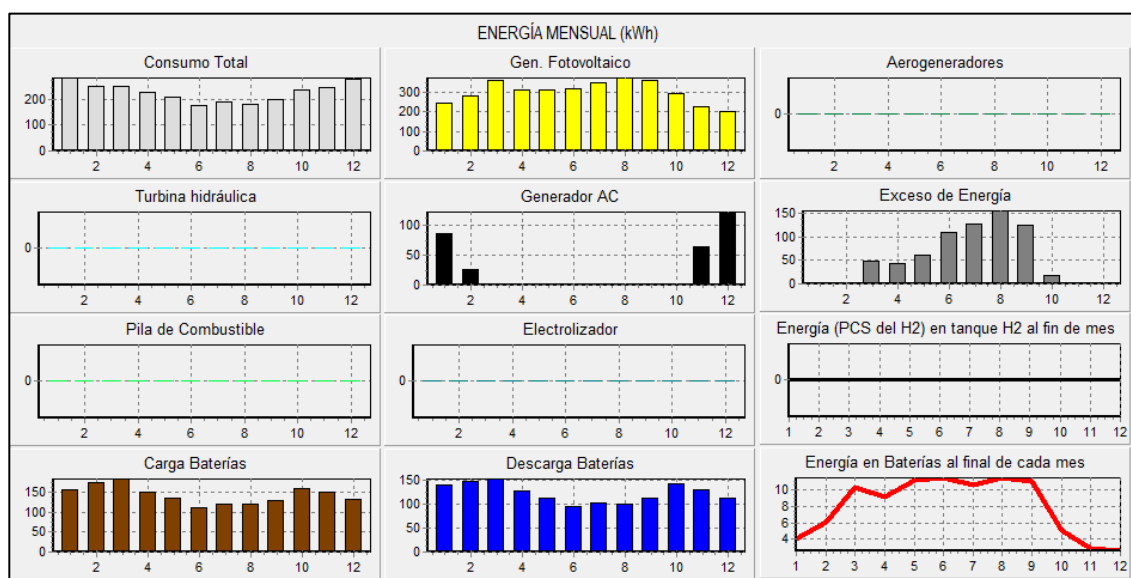


Ilustración 71: energía mensual de cada elemento con seguimiento de la demanda

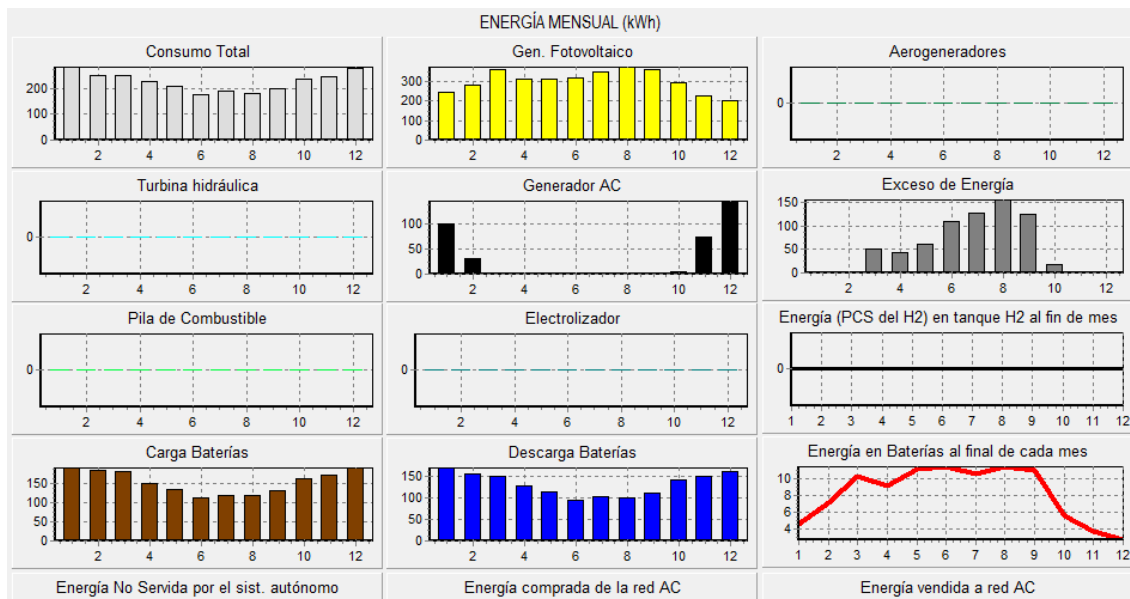


Ilustración 72: energía mensual de cada elemento con seguimiento de la demanda

En las gráficas no se aprecia demasiado, pero en los meses en los que el generador entra en funcionamiento, se observa que dan un poco más de energía con estrategia de carga cíclica que con seguimiento de la demanda, aparte de cargar más las baterías. Y como dije antes prefiero que el generador cuando funcione lo haga a potencia nominal que a baja o media carga, ya que sufre menos.

Veamos los informes que se apreciará mejor la diferencia.

MES	Consumo	Cons.AC	Fotov.	Gen.AC	Comb.Gen.	Cost.Comb.	C. bat	D. bat	ENoSrv	Exceso
1	281.1	281.1	244.9	85.0	42.7	36.7	155.7	140.5	0.0	0.0
2	249.8	249.8	285.3	25.1	12.8	11.0	175.0	147.0	0.0	0.6
3	250.3	250.3	360.9	0.0	0.0	0.0	183.5	152.0	0.0	48.6
4	224.2	224.2	315.6	0.0	0.0	0.0	149.7	128.3	0.0	43.6
5	207.4	207.4	313.2	0.0	0.0	0.0	135.6	113.3	0.0	60.4
6	176.4	176.4	320.6	0.0	0.0	0.0	111.5	94.5	0.0	108.6
7	186.8	186.8	351.2	0.0	0.0	0.0	120.0	102.8	0.0	127.2
8	181.6	181.6	375.3	0.0	0.0	0.0	119.6	100.8	0.0	155.5
9	198.7	198.7	364.0	0.0	0.0	0.0	130.8	111.5	0.0	124.2
10	233.9	233.9	295.7	2.8	1.5	1.3	160.9	142.2	0.0	18.0
11	243.2	243.2	229.0	63.6	32.7	28.1	149.5	129.2	0.0	0.0
12	277.1	277.1	204.3	121.8	61.2	52.6	131.3	111.8	0.0	0.0
TOTAL	2710.5	2710.5	3660.0	298.3	150.9	129.8	1723.0	1473.9	0.0	686.9

Ilustración 73: informe energético caso3 con seguimiento de la demanda

MES	Consumo	Cons.AC	Fotov.	Gen.AC	Comb.Gen.	Cost.Comb.	C. bat	D. bat	ENoServ	Exceso
1	281.1	281.1	244.9	100.7	33.0	28.4	191.5	170.6	0.0	0.0
2	249.8	249.8	285.3	30.4	10.0	8.6	186.4	156.1	0.0	0.7
3	250.3	250.3	360.9	0.0	0.0	0.0	182.3	152.0	0.0	49.8
4	224.2	224.2	315.6	0.0	0.0	0.0	149.7	128.3	0.0	43.6
5	207.4	207.4	313.2	0.0	0.0	0.0	135.6	113.3	0.0	60.4
6	176.4	176.4	320.6	0.0	0.0	0.0	111.5	94.5	0.0	108.6
7	186.8	186.8	351.2	0.0	0.0	0.0	120.0	102.8	0.0	127.2
8	181.6	181.6	375.3	0.0	0.0	0.0	119.6	100.8	0.0	155.5
9	198.7	198.7	364.0	0.0	0.0	0.0	130.8	111.5	0.0	124.2
10	233.9	233.9	295.7	3.8	1.2	1.1	162.3	143.1	0.0	18.0
11	243.2	243.2	229.0	74.1	24.3	20.9	174.0	149.6	0.0	0.0
12	277.1	277.1	204.3	146.3	47.9	41.2	190.5	162.0	0.0	0.0
TOTAL	2710.5	2710.5	3660.0	355.3	116.3	100.1	1854.3	1584.5	0.0	688.1

Ilustración 74: informe energético caso 3 con carga cíclica

Los valores energéticos están expresados en kWh, el coste de combustible en euros y el consumo del mismo en litros.

Observamos lo dicho anteriormente con más detalle. En la ilustración 72 vemos que las baterías se cargan y descargan menos que en la ilustración 73. Pero la principal diferencia, que a su vez está implicada en el coste, es que en la estrategia de carga cíclica el generador funciona a su potencia nominal y por tanto el consumo anual de combustible es menor que en el caso de estrategia con seguimiento de la demanda.

El programa impone estas características de manera que en el tipo seguimiento de la demanda, el SOCset_gen es del 20 % al igual que SOCmín, así de este modo si los paneles y las baterías no pueden abastecer la demanda el generador no cargará las baterías solo abastece la falta de demanda existente. Por otro lado en el tipo carga cíclica el programa impone un SOCset_gen del 95%, lo que quiere decir que cuando arranque el generador por falta de energía en el consumo, éste abastecerá la demanda y cargará las baterías hasta el 95% del SOC.

En el siguiente capítulo se discutirán los informes económicos de las simulaciones realizadas con Ihoga, así como las principales diferencias de precios del sistema y por qué de esos resultados.

5. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS TRES CASOS Y CONCLUSIONES

Una vez estudiados los tres casos expuestos en el proyecto y habiendo analizado sus características energéticas, se comentarán los resultados económicos obtenidos.

Veremos los resultados económicos de cada caso por separado y los compararemos en las conclusiones.

5.1 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO1:

AÑO	Costes paneles FV	O&M	Costes Inversor	Costes Baterías	O&M	Costes Reg. carga	Financiación	TOTAL (Costes-Ingresos)
0	7700.0	0.0	540.0	21360.0	0.0	2215.0	6550.3	6550.3
1	0.0	114.8	0.0	0.0	258.5	0.0	3587.0	3960.2
2	0.0	112.5	0.0	0.0	253.6	0.0	3449.0	3815.1
3	0.0	110.4	0.0	0.0	248.7	0.0	3316.3	3675.4
4	0.0	108.3	0.0	0.0	243.9	0.0	3188.8	3541.0
5	0.0	106.2	0.0	0.0	239.2	0.0	3066.1	3411.5
6	0.0	104.1	0.0	0.0	234.6	0.0	2948.2	3287.0
7	0.0	102.1	0.0	0.0	230.1	0.0	2834.8	3167.1
8	0.0	100.2	0.0	0.0	225.7	0.0	2725.8	3051.6
9	0.0	98.2	0.0	0.0	221.3	0.0	2621.0	2940.5
10	0.0	96.4	444.7	0.0	217.1	1824.1	2520.2	5102.3
11	0.0	94.5	0.0	0.0	212.9	0.0	0.0	307.4
12	0.0	92.7	0.0	0.0	208.8	0.0	0.0	301.5
13	0.0	90.9	0.0	0.0	204.8	0.0	0.0	295.7
14	0.0	89.2	0.0	0.0	200.9	0.0	0.0	290.0
15	0.0	87.4	0.0	0.0	197.0	0.0	0.0	284.4
16	0.0	85.8	0.0	0.0	193.2	0.0	0.0	279.0
17	0.0	84.1	0.0	0.0	189.5	0.0	0.0	273.6
18	0.0	82.5	0.0	7329.4	185.8	0.0	0.0	7597.8
19	0.0	80.9	0.0	0.0	182.3	0.0	0.0	263.2
20	0.0	79.3	366.2	0.0	178.8	1502.1	0.0	2126.5
21	0.0	77.8	0.0	0.0	175.3	0.0	0.0	253.1
22	0.0	76.3	0.0	0.0	172.0	0.0	0.0	248.3
23	0.0	74.9	0.0	0.0	168.6	0.0	0.0	243.5
24	0.0	73.4	0.0	0.0	165.4	0.0	0.0	238.8
25	0.0	72.0	-166.2	-2954.9	162.2	-681.6	0.0	-3568.4
TOTAL	7700.0	2294.8	1184.7	25734.6	5170.2	4859.6	36807.5	51936.4

Ilustración 75: tabla de costes caso 1

El programa nos ofrece un informe detallados de los costes de todos los elementos.

También refleja la renovación de algunos de ellos al finalizar su vida útil, los costes de operación y mantenimiento y el préstamo que fijamos a devolver en 10 años.

Como podemos ver en las siguientes gráficas, en este caso la vida útil del inversor y del regulador es de 10 años, y la de las baterías de 18 (el programa ya cuenta económicamente con su sustitución en el período de 25 años).

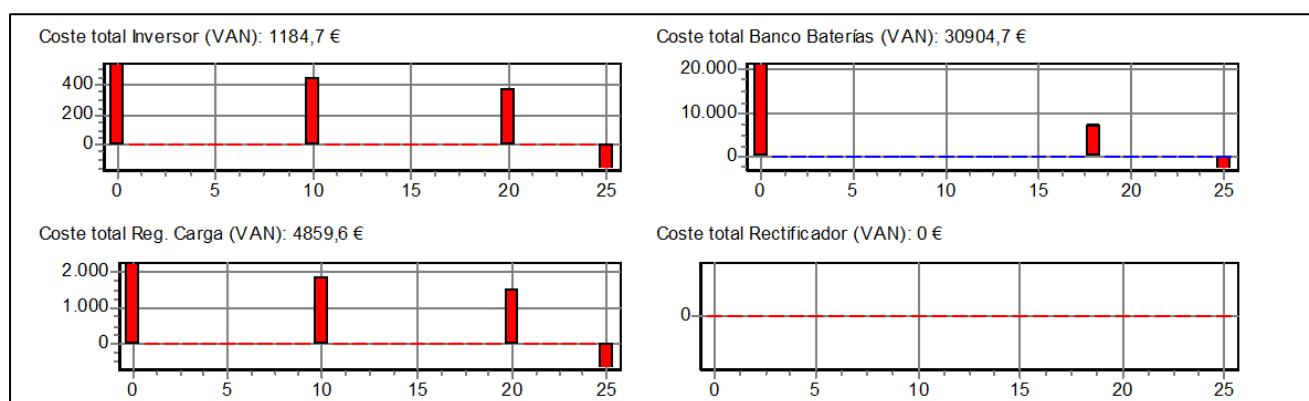


Ilustración 76: coste y sustitución de componentes

Y también vemos que los componentes serán más baratos con el paso de los años basándonos en a la investigación y el desarrollo de los mismos. En cuanto a los costes de operación y mantenimiento (que incluyen la revisión, limpieza, recambio de piezas estimado etc.) se empiezan a pagar desde el año uno y van siendo cada vez más económicos por la imposición que escogimos de una inflación del 2%. El préstamo se eligió financiar el 80 % del coste del sistema con un interés de 7%. Y por último los equipos se venderán como fin de la explotación del sistema, obteniendo las cantidades en negativo como beneficios en el coste total de la inversión.

5.2 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO2:

AÑO	Costes Gen. AC	O&M	Costes Comb. Gen AC	Costes Financiación	TOTAL (Costes-Ingresos)
0	800.0	0.0	0.0	223.2	223.2
1	784.6	1202.8	2167.1	122.2	4276.7
2	769.5	1179.7	2187.9	117.5	4254.7
3	754.7	1157.0	2209.0	113.0	4233.7
4	740.2	1134.7	2230.2	108.7	4213.8
5	726.0	1112.9	2251.6	104.5	4195.0
6	712.0	1091.5	2273.3	100.5	4177.3
7	698.3	1070.5	2295.2	96.6	4160.6
8	0.0	1049.9	2317.2	92.9	3460.1
9	671.7	1029.8	2339.5	89.3	4130.3
10	658.8	1010.0	2362.0	85.9	4116.6
11	646.1	990.5	2384.7	0.0	4021.4
12	633.7	971.5	2407.6	0.0	4012.8
13	621.5	952.8	2430.8	0.0	4005.1
14	609.6	934.5	2454.2	0.0	3998.2
15	597.9	916.5	2477.8	0.0	3992.1
16	0.0	898.9	2501.6	0.0	3400.5
17	575.1	881.6	2525.6	0.0	3982.3
18	564.0	864.6	2549.9	0.0	3978.6
19	553.2	848.0	2574.4	0.0	3975.6
20	542.5	831.7	2599.2	0.0	3973.4
21	532.1	815.7	2624.2	0.0	3972.0
22	521.9	800.0	2649.4	0.0	3971.3
23	511.8	784.6	2674.9	0.0	3971.4
24	0.0	769.5	2700.6	0.0	3470.2
25	-49.2	754.7	2726.6	0.0	3432.1
TOTAL	14176.1	24054.2	60914.7	1254.2	99599.2

Ilustración 77: tabla de costes caso 2

Como en el caso anterior contamos con un préstamo con las mismas condiciones, a devolver en tres años. También se mantiene la inflación del 2% en las tareas de operación y mantenimiento, que en este caso vemos que son muy superiores al caso de los generadores fotovoltaicos. Y sin mencionar los costes totales de combustible que suponen un 60% aproximadamente del coste total de la instalación.

5.3 RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CASO3:

Sabiendo ya que el estudio del caso 3 con estrategia cíclica era el más económico y habiendo explicado ya sus razones nos centraremos solamente en él.

AÑO	Gen. FV	O&M	Gen. AC	O&M	Inv.	Bat.	O&M	Reg. carga	Rectif.	Comb. Gen AC	Financiación	TOTAL
0	4900.0	0.0	800.0	0.0	540.0	4272.0	0.0	2215.0	480.0	0.0	2754.2	2754.2
1	0.0	87.3	0.0	25.7	0.0	0.0	90.9	0.0	0.0	101.0	1508.2	1813.2
2	0.0	85.6	0.0	25.2	0.0	0.0	89.2	0.0	0.0	102.0	1450.2	1752.2
3	0.0	84.0	0.0	24.7	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	103.0	1394.4	1693.5
4	0.0	82.3	0.0	24.2	0.0	0.0	85.8	0.0	0.0	104.0	1340.8	1637.1
5	0.0	80.8	0.0	23.8	0.0	0.0	84.1	0.0	0.0	105.0	1289.2	1582.9
6	0.0	79.2	0.0	23.3	0.0	0.0	82.5	0.0	0.0	106.0	1239.7	1530.7
7	0.0	77.7	0.0	22.9	0.0	0.0	80.9	0.0	0.0	107.0	1192.0	1480.4
8	0.0	76.2	0.0	22.4	0.0	0.0	79.4	0.0	0.0	108.0	1146.1	1432.1
9	0.0	74.7	0.0	22.0	0.0	2502.5	77.9	0.0	0.0	109.1	1102.0	3888.1
10	0.0	73.3	0.0	21.6	444.7	0.0	76.4	1824.1	395.3	110.1	1059.7	4005.0
11	0.0	71.9	0.0	21.1	0.0	0.0	74.9	0.0	0.0	111.2	0.0	279.1
12	0.0	70.5	0.0	20.7	0.0	0.0	73.4	0.0	0.0	112.2	0.0	276.9
13	0.0	69.1	0.0	20.3	0.0	0.0	72.0	0.0	0.0	113.3	0.0	274.8
14	0.0	67.8	0.0	19.9	0.0	0.0	70.6	0.0	0.0	114.4	0.0	272.8
15	0.0	66.5	0.0	19.6	0.0	0.0	69.3	0.0	0.0	115.5	0.0	270.9
16	0.0	65.2	0.0	19.2	0.0	0.0	68.0	0.0	0.0	116.6	0.0	269.0
17	0.0	64.0	0.0	18.8	0.0	0.0	66.7	0.0	0.0	117.7	0.0	267.2
18	0.0	62.7	0.0	18.5	0.0	1465.9	65.4	0.0	0.0	118.9	0.0	1731.3
19	0.0	61.5	0.0	18.1	0.0	0.0	64.1	0.0	0.0	120.0	0.0	263.8
20	0.0	60.4	0.0	17.8	366.2	0.0	62.9	1502.1	325.5	121.2	0.0	2456.0
21	0.0	59.2	0.0	17.4	0.0	0.0	61.7	0.0	0.0	122.3	0.0	260.6
22	0.0	58.1	0.0	17.1	0.0	0.0	60.5	0.0	0.0	123.5	0.0	259.1
23	0.0	56.9	0.0	16.7	0.0	0.0	59.3	0.0	0.0	124.7	0.0	257.7
24	0.0	55.8	0.0	16.4	0.0	0.0	58.2	0.0	0.0	125.9	0.0	256.3
25	0.0	54.8	0.0	16.1	-166.2	-276.8	57.1	-681.6	-147.7	127.1	0.0	-1017.2
TOTAL	4900.0	1745.6	800.0	513.5	1184.7	7963.5	1818.6	4859.6	1053.1	2839.5	15476.7	29947.8

Ilustración 78: tabla de costes caso 3

En este caso se siguen manteniendo todas las características de los anteriores en cuanto a préstamos e inflación de costes de operación y mantenimiento. Sólo que habría que añadir que ahora se incluyen también los costes de operación y mantenimiento del generador diesel y el coste de compra de un rectificador. En esta ocasión el mayor coste de la inversión total vemos que es en la financiación del préstamo pedido.

En la siguiente gráfica se indica al igual que en la tabla anterior la sustitución de los elementos cuya vida útil es menor a los 25 años de estudio.

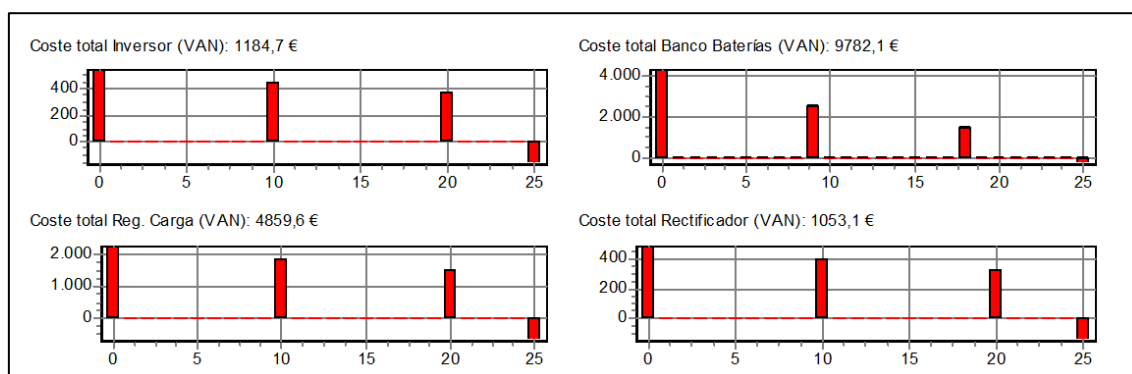


Ilustración 79: sustitución y cotes de componentes caso 3

Vemos que la vida útil del inversor, rectificador y del regulador es de 10 años por lo que se deberán sustituir dos veces a lo largo del período de estudio. Por otro lado las baterías tienen una vida útil de unos 9 años, que en comparación con el caso 1 es casi de la mitad. Esto se debe a que el número de baterías en este apartado es bastante menor que en el primero, por lo que sufren un mayor desgaste en los 25 años.

5.4 CONCLUSIONES:

Como sabemos en los tres casos hemos utilizado los mismos modelos de elementos, mismas restricciones y estrategias de control para hacer la comparación lo más aproximada posible. Resumamos los componentes elegidos y la cantidad de cada uno de ellos.

	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	MODELO	CANTIDAD	MODELO	CANTIDAD	MODELO	CANTIDAD
PANELES	PV SiP24-Atersa: A290P	2s x 11p	-	-	PV SiP24-Atersa: A290P	2s x 7p
BATERÍAS	OPZS-Hawker:TLS-5	24s x 5p	-	-	OPZS-Hawker:TLS-5	24s x 1p
REGULADOR	STECA: P TAROM 4140	1	-	-	STECA: P TAROM 4140	1
INVERSOR	ACME: 1000	1	-	-	ACME: 1000	1
GENERADOR DIESEL	-	-	AC diesel 1,9 kVA	1	AC diesel 1,9 kVA	1
COSTE TOTAL (Con seguimiento de la demanda)	51.936 €		99.599 €		31.666 €	
COSTE TOTAL (Con carga cíclica)	51.936 €		99.599 €		29.947 €	

Ilustración 80: componentes de estudio de los tres casos

El estudio está realizado para una inversión en el sistema con duración de 25 años, que es la vida que se espera de los paneles. Los elementos aunque sean los mismos elegidos para digamos los tres casos, la vida útil de las baterías no será la misma en el caso1 que en caso 2, ya que la cantidad en el caso uno es mayor que en el dos. Aún así el programa tiene en cuenta la renovación de los componentes.

Lo primero es descartar el abastecimiento de la demanda con el sistema del caso 2, ya que su precio es desorbitado. Esto se debe a que el generador funciona todo el año con el correspondiente exceso de energía (ya que debía cumplir la restricción de Energía no servida = 0%) que se tiene que desear, ya que es un sistema aislado y no puede inyectar el excedente a la red. Y por otro lado hay que pagar el combustible con su correspondiente inflación a lo largo de los 25 años.

En cuanto a la diferencia económica del caso 2 y 3, el caso 2 debe cumplir como todos con una continuidad de suministro, y al no tener un generador de respaldo también debe ofrecer una autonomía al sistema por si los paneles no pueden funcionar por días

nublados u otras circunstancias. En viviendas de uso permanente se aconseja tener como mínimo unos 5 días de autonomía.

Por otro lado el caso 3 también cumple con la continuidad de suministro pero no tiene por qué tener una autonomía ya que disponemos de un generador de combustible fósil de respaldo. Esto deriva para el caso 2 en la diferencia de 21989 € del coste total respecto al caso 3. Se debe principalmente a que al no existir el generador de respaldo, se necesita de más paneles en paralelo y en este caso hasta cinco veces más baterías, sumando a esto que al haber mayor número de componentes, los costes de operación y mantenimiento también serán mayores.

Por tanto para finalizar, queda claro que para un mismo perfil de consumo y un mismo lugar donde instalar el sistema de abastecimiento de energía, los sistemas híbridos frente a un sistema únicamente basado en generadores de recurso renovable son bastante más eficientes a la par que económicos.

INDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema molino de viento multipala tradicional	8
Ilustración 2: Sistema eólico-eléctrico aislado para bombeo	9
Ilustración 3: Turbina savonius	9
Ilustración 4: Turbina Darrieus	9
Ilustración 5: Aerogenerador de eje horizontal	10
Ilustración 6: Esquema aerogenerador eje horizontal.....	11
Ilustración 7: Curva de potencia de un aerogenerador y energía producida anual en kWh/año	14
Ilustración 8: Esquema turbina Pelton.....	16
Ilustración 9: Imagen real turbina Pelton	16
Ilustración 10: Esquema turbina Francis	17
Ilustración 11: Turbina Francis	18
Ilustración 12: Álabes del distribuidor (amarillo) colocados en posición de mínimo caudal	18
Ilustración 13: Álabes del distribuidor (amarillo) colocados en posición de máximo caudal.....	18
Ilustración 15: Foto real turbina Kaplan.....	19
Ilustración 16: Central hidroeléctrica convencional	20
Ilustración 17: Central hidroeléctrica de bombeo	21
Ilustración 18: Esquema presa de marea	23
Ilustración 19: Generador de corriente de marea.....	24
Ilustración 20: Mapa de diferencia de mareas	24
Ilustración 21: colector tipo fresner	29
Ilustración 22: colector cilindro-parabólico	29
Ilustración 23: colector plano	29
Ilustración 24: colector de vacío.....	29
Ilustración 25: esquema simple instalación termo solar	31
Ilustración 26: Sistema de refrigeración/calefacción termo solar	32
Ilustración 27: Colector de concentración (media temperatura)	33
Ilustración 28: Central termo solar alta temperatura	33
Ilustración 29: comportamiento de una célula fotovoltaica.....	35

Ilustración 30: Células silicio monocristalino, policristalino y amorfo (de izquierda a derecha)	36
Ilustración 31: circuito equivalente célula fotovoltaica.....	37
Ilustración 32: Partes de un panel solar fotovoltaico.....	38
Ilustración 33: curva característica I-V de un panel fotovoltaico.....	39
Ilustración 34: Tipos de Biomasa	41
Ilustración 35: central geotérmica	42
Ilustración 36: sistema híbrido con inversor bidireccional (configuración AC)	47
Ilustración 37: sistema híbrido con regulador de carga (configuración DC)	49
Ilustración 38: Sistema híbrido mixto (configuración AC y DC)	50
Ilustración 39: Sistema híbrido con inversor híbrido	50
Ilustración 41: curva de carga y descarga de una batería de plomo ácido.....	53
Ilustración 40: proceso de carga y descarga de una batería plomo-ácido	53
Ilustración 42: vida de una batería de plomo ácido según temperatura.....	54
Ilustración 43: pestaña irradiación (Ihoga).....	60
Ilustración 44: ventana de cálculo de inclinación óptima.....	60
Ilustración 45: consumo medio en Enero	61
Ilustración 46: curvas ciclado de vida de la batería.....	66
Ilustración 47: curva de consumo por KW del generador diesel de 1,9kVA	67
Ilustración 48: parámetros económicos	70
Ilustración 49: gráfica de costes	70
Ilustración 50: datos de irradiación de mi situación.	74
Ilustración 51: ángulo óptimo de inclinación	75
Ilustración 52: datos de perfil de consumo con gráfica media del mes de Enero.....	76
Ilustración 53: hoja de características del panel A-290P de Atersa.	77
Ilustración 54: características baterías fabricante Hawker	77
Ilustración 55: características del inversor ACME 1000.....	78
Ilustración 56: características del regulador de carga Steca P-Tarom 4140.....	79
Ilustración 57: esquema caso1	80
Ilustración 58: elementos caso 1.....	80
Ilustración 59: potencia mensual y anual de generación	81
Ilustración 60: valores de energía mensual de cada componente.....	82
Ilustración 61: informe energético de valores mensual y anual	82

Ilustración 62: esquema caso 2.....	83
Ilustración 63: características del generador diesel	83
Ilustración 64: cantidad y coste del generador diesel	84
Ilustración 65: potencia media anual y mensual del generador.....	84
Ilustración 66: energía mensual.....	85
Ilustración 67: informe energético caso 2.....	85
Ilustración 68: esquema caso 3	86
Ilustración 69: elementos caso 3.....	86
Ilustración 70: potencia media mensual anual cas3 con seguimiento de la demanda	87
Ilustración 71: potencia media mensual anual cas3 con carga cíclica.....	88
Ilustración 72: energía mensual de cada elemento con seguimiento de la demanda.....	88
Ilustración 73: energía mensual de cada elemento con seguimiento de la demanda.....	89
Ilustración 74: informe energético caso3 con seguimiento de la demanda	89
Ilustración 75: informe energético caso 3 con carga cíclica.....	90
Ilustración 76: tabla de costes caso 1	91
Ilustración 77: coste y sustitución de componentes	92
Ilustración 78: tabla de costes caso 2	93
Ilustración 79: tabla de costes caso 3	94
Ilustración 80: sustitución y cotes de componentes caso 3	95
Ilustración 81: componentes de estudio de los tres casos.....	96

BIBLIOGRAFÍA

1. Apuntes Universidad Politécnica Carlos III de Julio Usaola
2. Apuntes Universidad Politécnica Carlos III de Mónica Chinchilla
3. Página web <http://twenergy.com>
4. Página web fabricante SCHOTT <http://www.schott.com>
5. Vicente Salas: “Sistemas de almacenamiento: Estado de la técnica”
6. Página web Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía www.idae.es
7. Página web <http://www.ecologiaverde.com/>
8. Vicente Salas, Moisés Labarquilla: “Análisis de configuraciones de los sistemas fotovoltaicos híbridos2
9. Página web <http://paneles-fotovoltaicos.blogspot.com/>
10. Página web todo solar www.todosolar.com
11. Vicente Salas, Moisés Labarquilla: “Integración del autoconsumo fotovoltaico en sistemas híbridos con Diésel”
12. Página [web http://solarwall.com](http://solarwall.com)
13. Vicente Salas: “Hibridación fotovoltaica aislada: configuraciones-topología”
14. Página web del fabricante Atersa <http://www.atersa.com/home.asp>
15. Página web <http://www.degeriberica.com/wp/pt-pt/>
16. Manual iHoga del Dr. Rodolfo Dufo López
17. Guía de iniciación iHoga del Dr. Rodolfo Dufo López
18. Página web <http://todoproductividad.blogspot.com.es/>
19. Marco A. Cano Tapia: “Diseño de Aerobombas”
20. Página web <http://www.accion.com>
21. Rafael Oliva: “Energía eólica principios básicos”
22. Carlos Fabián: “La energía mareomotriz como energía renovable”
23. Página web <http://www.energiarenovable.com/>
24. Página web <http://www.howstuffworks.com/>
25. Página web <http://erenovable.com/>
26. Página web fabricante STECA <http://www.steca.com/>
27. Página web <http://www.sol-i-vent.es/home-h-1-50/>
28. Fabricante SMA: Artículo “Sun saves fuel”
29. Empresa energía Solar Pablos: Artículo “Sistema híbridos aislados”

30. Daniela Muñoz y Andrés Yenes: Proyecto “Sistema híbrido para Isla de Pascua”
31. Págin web <http://www.regenbat.com>
32. Abraham Juárez: Artículo “Radiación Solar”
33. Pedro Gil Corrán : Proyecto “Estudio de optimización de la alimentación eléctrica a un refugio de montaña”
34. Miguel Ángel Guillamón López: Proyecto “Central termosolar de 50 MW en Murcia con colectores cilindro parabólicos”
35. AEMET: Artículo “Radiación solar”
36. Página web <http://www.censolar.es>
37. José Antonio Echeverría: Artículo “Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras”
38. Pablo Tagle Salazar, Jorge Duque Rivera: Proyecto “Diseño preliminar de un sistema híbrido de suministro de energía doméstica para una comunidad aislada en base al modelado en el software HOMER”
39. Página web <http://www.sogaltecsolar.com>
40. Página web del fabricante HAWKER <http://www.enersys-hawker.com>
41. Página web <http://www.anelion.com>